

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

На правах рукописи



Пальгуйев Дмитрий Анатольевич

Методы и алгоритмы построения информационной системы
сетевой структуры для обработки локационной информации

2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант
д.т.н., доцент Бабанов Николай Юрьевич

Нижний Новгород – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ		Стр.
	ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	8
	ВВЕДЕНИЕ.....	10
	<i>Актуальность темы</i>	10
	<i>Цель работы</i>	18
	<i>Состояние рассматриваемых вопросов</i>	18
	<i>Задачи работы</i>	23
	<i>Основные положения, выносимые на защиту</i>	24
	<i>Научная новизна работы</i>	25
	<i>Теоретическая значимость работы</i>	27
	<i>Практическая значимость работы</i>	28
	<i>Внедрение результатов работы</i>	28
	<i>Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов и выводов проведенных исследований</i>	28
	<i>Публикации и апробация результатов работы</i>	30
	<i>Личный вклад</i>	32
	<i>Область исследования</i>	33
	<i>Структура и объем работы</i>	34
1	ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	38
1.1	Состав и структура информационной системы сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства.....	38
1.2	Краткий анализ концепции «сетцентрических войн» с точки зрения информационной составляющей.....	42
1.3	Анализ известных принципов и способов построения единого информационного поля	50
1.3.1	Информационная составляющая цикла управления на примере цикла Бойда	50

1.3.2	Этапы и особенности построения информационной структуры, основанной на сетевых принципах по данным зарубежных ученых и экспертов	53
1.3.3	Особенности концепций и перспектив создания информационной системы сетевой структуры в Российской Федерации	57
	<i>Объединенная автоматизированная цифровая система связи ОАЦСС как основа построения современной отечественной перспективной информационной системы</i>	<i>60</i>
1.4	Основные термины и определения. Интегральный показатель информационных потерь и целевая функция эффективности информационной системы	62
1.4.1	Основные термины и определения.....	62
1.4.2	Интегральный показатель информационных потерь и целевая функция эффективности информационной системы	73
	Выводы по разделу 1.....	78
2	ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ, СТРУКТУРЫ И УРОВНИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ.....	80
2.1	Основные положения системного подхода к исследованию и анализу информационных систем сбора, обработки и обмена локационной информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей	81
2.2	Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями.....	85
2.3	Структура исследования по построению информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства	89

	<i>Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства</i>	92
2.4	Уровни автоматизированной системы управления	95
2.5	Структурная схема подключения источников и потребителей к терминалам обработки РЛИ в сетевой структуре и определение порядка её функционирования.....	102
	Выводы по разделу 2.....	112
3	ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ.....	114
3.1	Анализ метода традиционной третичной обработки РЛИ.....	114
	<i>Основные требования к обмену информации в перспективной сетевой информационной структуре</i>	119
3.2	Метод сетевой обработки РЛИ.....	121
3.3	Синтез алгоритма сетевой обработки РЛИ на основе разработанного метода.....	124
3.3.1	Приведение информации к единой системе координат.....	125
3.3.2	Предварительный отбор радиолокационной информации.....	126
3.3.3	Экстраполяция координат.....	128
3.4	Объединение радиолокационной информации. Оценка вероятности правильного объединения РЛИ при сетевой обработке.....	134
	Выводы по разделу 3.....	146
4	ГЛАВА 4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАССИВОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В ВИДЕ МАТРИЦ. ОБРАБОТКА СООБЩЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ РЛИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРИЗНАКАМИ	149
4.1	Обработка новых сообщений (сообщений о новых трассах) от источников РЛИ.....	150
4.2	Обработка повторных сообщений от источников РЛИ.....	160

4.3	Обработка повторных сообщений при нарушениях в работе линии передачи данных.....	164
4.4	Представление РЛИ, поступающей от нескольких источников.....	170
4.5	Отбор РЛИ для выдачи потребителю.....	173
4.6	Результаты моделирования представления радиолокационных данных в виде матриц и операций над ними в алгоритме сетевой обработки.....	180
	Выводы по разделу 4.....	184
5	ГЛАВА 5. НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ОБМЕНА ЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ. АЛГОРИТМЫ СИСТЕМНОГО УРОВНЯ.....	186
5.1	Значение и роль привязки координатной составляющей сообщений о воздушных объектах к источникам.....	187
5.2	Применение метода агрегирования радиолокационной информации в сетевой структуре.....	189
5.2.1	Краткие сведения о методе агрегирования. Области применения метода агрегирования в сетевой структуре.....	189
5.2.2	Агрегирование и сетевая обработка при выдаче потребителю.....	198
5.3	Алгоритмы системного уровня.....	206
5.4	Оценка времени задержки информации при передаче РЛИ по каналам связи с использованием алгоритма АПД «Аккорд-СС-ПД».....	212
5.5	Выбор архитектуры построения комплексов средств оперативно-командной громкоговорящей и телефонной связи на основе сравнительного анализа пропускной способности при максимальной нагрузке и рекомендации по их применению в составе терминалов автоматизированной системы обработки и обмена информацией.....	219

5.6	Рекомендации по обоснованию структуры терминала обработки РЛИ и его использованию как базовой ячейки АСООИ, входящей в состав АСУ сетевой структуры.....	229
5.6.1	Практические рекомендации по обоснованию структуры построения терминала обработки РЛИ.....	230
5.6.2	Рекомендации по применению терминала обработки РЛИ как базовой ячейки АСООИ, входящей в состав АСУ сетевой структуры.....	232
5.7	Построение информационной системы сетевой структуры для обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды.....	234
5.8	Этапы построения информационных систем сетевой структуры. Сравнительная оценка эффективности иерархической и сетевой структур.....	240
	<i>Этапы построения информационных систем сетевой структуры.....</i>	240
	<i>Сравнение информационных систем на основе временных интервалов обработки и распространения информации.....</i>	247
	<i>Сравнение информационных систем на основе энтропийного подхода.....</i>	250
	Выводы по разделу 5.....	259
6	ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ.....	261
6.1	Имитационная модель обработки РЛИ на сервере сетевой структуры.....	261

6.2	Результаты имитационного моделирования обработки РЛИ на сервере сетевой структуры.....	263
6.2.1	Прямолинейное движение.....	263
6.2.2	Воздушные объекты, движущиеся с маневром.....	274
6.3	Экспериментальные результаты объединения разнородной информации от некогерентных источников по неполным данным... <i>Особенности сетевой обработки при объединении разнородной информации по неполным данным</i>	286 286
	<i>Результаты экспериментальных измерений</i>	290
	<i>Система селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов</i>	292
	Выводы по разделу 6.....	295
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	298
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	307
	Приложение А.....	

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АСООИ – автоматизированная система обработки и обмена информацией

АСУ – автоматизированная система управления

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ВВС – Военно-воздушные силы

ВО – воздушный объект, воздушная обстановка

ВКО – воздушно-космическая оборона

ВКС РФ – Воздушно-космические Силы Российской Федерации

ВС РФ – Вооруженные Силы Российской Федерации

ЕАРЛС – единая автоматизированная радиолокационная система

ЕС ОрВД – единая система организации воздушного движения

ЗРВ – зенитно-ракетные войска

КП (ПУ) – командный пункт (пункт управления)

КСА – комплекс средств автоматизации

ЛВС – локальная вычислительная сеть

ЛПР – лицо, принимающее решения

МБПЛА – малогабаритный беспилотный летательный аппарат

МПТСК – местная прямоугольная топографическая система координат

ОАЦСС – объединенная автоматизированная цифровая система связи

ПВО – противовоздушная оборона

ПУ – пункт управления

РВВ – распределенный векторный вычислитель

РИ – речевая информация

РЛ – радиолокация, радиолокационный

РЛИ – радиолокационная информация

РЛК – радиолокационный комплекс

РЛП ДН – радиолокационные позиции двойного назначения

РЛС – радиолокационная станция

РТВ – радиотехнические войска

СВН – средства воздушного нападения

СКО – среднеквадратическое отклонение

СПО – специальное программное обеспечение

ССО – сервер сетевой обработки

ССПД – система связи и передачи данных

ТКИ – телекодированная информация

ФСР (и) КВП – Федеральная система разведки и контроля воздушного пространства

ЦУС – цифровой узел связи

ЭПР – эффективная площадь рассеивания

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Информационные системы являются основой обеспечения управления и входят в состав всех систем управления. Они обеспечивают сбор, обработку и обмен информацией между источниками и потребителями информации разных уровней. Одним из ключевых и специфических видов информации для информационных систем, обеспечивающих мониторинг воздушного пространства, является радиолокационная. В системе, выполняющей функции контроля и управления воздушным движением и одновременно радиолокационной разведки, радиолокационная информация отводится одна из ведущих ролей.

Наиболее масштабной из информационных систем, существующих в Российской Федерации и в мире в настоящее время, является система, обеспечивающая функционирование Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства.

Федеральная система разведки и контроля воздушного пространства (ФСР и КВП) была создана в 1994 г. В целях объединения усилий Министерства обороны Российской Федерации и Министерства транспорта Российской Федерации ФСР и КВП была образована как система двойного (военно-гражданского) назначения для управления движением в воздушном пространстве Российской Федерации и эффективного решения задач противовоздушной обороны [1, 2].

Информационно-технической основой ФСР и КВП РФ является единая автоматизированная радиолокационная система (ЕАРЛС) [1, 2]. В состав ЕАРЛС входят силы и средства радиотехнических частей и подразделений Вооруженных Сил Российской Федерации, а также радиолокационные позиции двойного назначения (РЛП ДН) Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиации).

Основные задачи, которые ставятся перед радиолокационными средствами по обнаружению воздушных объектов, безопасности воздушного движения и созданию радиолокационного поля [3, 4, 5], проецируются на задачи информацион-

ной системы по обеспечению сбора, обработки, обмена и своевременного доведения радиолокационной информации до соответствующих пунктов управления и лиц, принимающих решения.

Возрастание актуальности проблемы своевременного обнаружения воздушных объектов различных классов и доведение информации о них до пунктов управления определяются следующими основными причинами [6, 7]:

- развитие в количественном и качественном отношении гражданской авиации;
- значительное улучшение маневренных возможностей и количественных характеристик летательных аппаратов и средств воздушного нападения в целом;
- скачкообразное развитие целого класса летательных аппаратов – БПЛА;
- развитие легкомоторной маловысотной частной авиации;
- развитие средств постановки помех радиолокационным системам;
- усложнение электромагнитной обстановки и ужесточение требований и норм по электромагнитной совместимости (промышленные и бытовые радиопомехи).

Таким образом, задача создания единого радиолокационного информационного поля, одной из важнейших составляющих которого является информационная система сбора, обработки и обмена РЛИ, остается актуальной на протяжении уже нескольких десятилетий [6, 8, 9].

Информационная система, обеспечивающая сбор, обработку, обмен и доведение радиолокационной информации до потребителей, является подсистемой по отношению к ЕАРЛС. В числе задач, возлагаемых на информационное обеспечение ФСР и КВП, в [10] перечислены следующие:

- радиолокационный контроль и радиолокационная разведка воздушного пространства Российской Федерации;
- единое информационное обеспечение органов управления воздушным движением и систем управления войсками;
- организация взаимодействия органов управления воздушным движением

и органов управления видов Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ);

– разработка и производство радиоэлектронной техники на территории Российской Федерации на основе единой технической политики.

В диссертационном исследовании рассматриваются направления повышения эффективности функционирования информационной системы, которая обеспечивает сбор, обработку, своевременную доставку радиолокационной информации (РЛИ), взаимодействие по обмену этой информацией между пунктами управления различных уровней.

Информационные системы обработки и обмена РЛИ гражданского и военного назначения развиваются в целом по схожим направлениям, но к военной составляющей предъявляются дополнительные требования по обеспечению стойкости к внешним воздействующим факторам, помехозащищенности и мобильности. В последнее время произошло смещение основных задач ФСР КВП и ЕАРЛС, как её информационно-технической основы, в соответствии с новыми требованиями со стороны Воздушно-космической обороны (ВКО) РФ. «На первый план выдвигаются задачи предупреждения о воздушном нападении и информационного обеспечения боевых действий по отражению ударов средств воздушного нападения (СВН)» [11, 12]. Следовательно, именно в этом аспекте в основном должны рассматриваться меры по улучшению эффективности функционирования информационной системы сбора, обработки и обмена РЛИ. Можно полагать, что решения, направленные на поиск путей повышения эффективности информационной системы, в определенной степени будут применимы и в гражданской, и в военной областях.

Развитие информационных технологий за последние десятилетия привело к появлению сетевых структур обмена информацией между потребителями. С появлением интернета началось осмысление его возможностей не только для обмена информацией внутри сети, но и его влияния на другие процессы, не связанные с информационным обменом. Наиболее развитым в идеологическом и технологическом плане это направление оказалось, прежде всего, в военной сфере, и дало

начало появлению фундаментальных теорий и концепций ведения боевых действий в современных условиях, таких как теория Бойда, концепция «сетевых войн» и других.

В России обсуждение концепции «сетевых войн» началось с 2002-2003 гг. Анализу этой концепции, а также возможностям применения в военной и гражданской сферах посвящены работы целого ряда авторов: А.Е. Кондратьева, В.В. Корниенко, С.А. Семенова, Д.М. Фомина, В.С. Вербы, С.М. Паршина, Б.Ф. Чельцова, В.А. Рыжова, А.А. Ивлева, и других [13-36, 38-41]. Несколько позднее в некоторых работах, например, в [37, 42], содержатся предложения по использованию сетевого принципа обмена информацией между различными комплексами вооружения. Основными достоинствами этого принципа является возможность сокращения цикла управления и создания картины ситуационной осведомленности. Для органов управления воздушным движением и войск противовоздушной обороны сокращение цикла управления и создание ситуационной осведомленности всех подразделений, заинтересованных в получаемой радиолокационной информации (РЛИ) о средствах воздушного нападения противника, являются важными задачами [29, 34, 37, 43, 44]. Задачи по своевременной доставке РЛИ до потребителей, в том числе принадлежащим разным ведомствам, и формированию единого информационного пространства для освещения воздушной обстановки, отмечаются в работах по развитию ФСР КВП РФ [10, 11].

Во всех новых концепциях особое значение придается информации, то есть всему, с чем связано её получение, обработка, принятие решений и доставка потребителям. Информационные процессы самым непосредственным образом влияют на цикл управления. При этом одним из существенных резервов для сокращения длительности цикла управления является время нахождения информации в системе сбора, обработки и доставки. В связи с этим сокращение времени нахождения информации в системе в различных условиях её функционирования является одной из самых серьезных проблем современных автоматизированных систем управления (АСУ).

Обеспечению постоянной готовности и совершенствованию информационной составляющей ФСР КВП РФ, а также подобных систем зарубежных стран, в частности, одной из крупнейших объединенных систем ПВО США и Канады – NORAD, со стороны государственных органов уделяется повышенное внимание. Можно отметить, что с 1994 г., более чем за 25 лет существования ФСР и КВП прошла три этапа совершенствования [11, 12], а в марте 2021 г. принято решение об очередной модернизации системы NORAD [45].

Вместе с тем, современные требования по своевременности доставки радиолокационной информации потребителям от источников находятся в противоречии с возможностями информационных систем по их выполнению [46, 47, 48]. Именно этим противоречием определяется актуальность исследования по повышению эффективности информационной системы.

В исследовании комплексное решение этой проблемы тесно связано с построением информационной системы, её структуры, методов и алгоритмов обработки радиолокационной информации. Основное внимание уделено особенностям построения информационной системы как подсистемы большой радиолокационной системы, входящей по классификации, приведенной в работе [49], в свою очередь, в состав больших систем воздушно-космической обороны (ВКО) и Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства (ФСР и КВП).

Кроме проблемы сокращения времени нахождения информации в информационной системе, которое оказывает значительное влияние на выполнение функций системы, представляются существенными и тесно взаимосвязанными с первой еще две проблемы:

- своевременная доставка информации потребителям в условиях ограниченных возможностей информационных систем;
- взаимодействие между гетерогенными, и (или) гетерогенными и гомогенными информационными системами на межсистемном уровне.

Реализация взаимодействия между гетерогенными информационными системами невозможна без решения проблемы объединения разнородной информации.

Указанное объединение будет обоснованным, если поступающая разнородная информация будет согласована по качественным и количественным параметрам и процедурам: по времени; по идентификации и объединению от различных источников; по протоколам представления (отображения) и т.п.

В исследовании проведено логическое обобщение и распространение методов обработки радиолокационной информации на локационную информацию от разнородных источников, поэтому термин «локационная информация» применяется наряду с термином «радиолокационная» по контексту исследования.

Наличие объединенной информации способствует обеспечению оценки воздушной обстановки, управлению средствами управления воздушным движением и контролю воздушного пространства, средствами разведки, активными средствами, вскрытию замысла противника, выработке предложений по противодействию и целому ряду других задач.

Существенное значение при построении любой системы и оценке ее качества в течение всех этапов жизненного цикла имеет целеполагание, результат которого формально можно представить функцией или показателем эффективности. Как отмечено в работах [49, 50, 51, 52], выбор функции (показателя) эффективности является внесистемной задачей, которую следует решать на основе анализа цели системы более высокого порядка, чем проектируемые. В данном случае системами более высокого порядка являются большая радиолокационная система и система противовоздушной (воздушно-космической) обороны, а показателем эффективности – «время нахождения информации в информационной системе», который является частью более общего показателя – «длительность цикла управления».

В работе Конторова Д.С., Голубева-Новожилова Ю.С. [49] подчеркивается, что выбор именно структуры системы практически определяет технический облик как всей системы, так и её подсистем и элементов. В целом жизнеспособность системы (надежность, помехоустойчивость и живучесть системы при заданных характеристиках ее элементов) в значительной степени определяется ее структурой. Устойчивая структура системы более успешно противостоит воздействию внешних факторов.

Информационная составляющая является существенной частью любого цикла управления, поэтому её совершенствование и сокращение временных интервалов, присущих этапам сбора, обработки и обмена информацией, позволяет сократить длительность цикла управления в целом. Исследование посвящено рассмотрению и разработке на базе системного анализа различных видов структур информационных систем, способов их построения, методов и алгоритмов, направленных на повышение эффективности информационной составляющей системы контроля воздушного пространства. Проведен анализ как существующих алгоритмов третичной обработки, так и разрабатываемых алгоритмов сетевой обработки в интересах построения информационных систем сетевой структуры.

На примере радиолокационной системы реализован пилотный проект построения информационной системы полносвязной сетевой структуры, оптимальным образом соответствующей решению задачи сокращения времени нахождения информации в информационной системе, и, как следствие – сокращению длительности цикла управления, повышению качества и достоверности радиолокационной и разнородной информации, повышению эффективности системы контроля воздушного пространства в целом.

Время нахождения РЛИ в информационной системе является наиболее существенной частью времени доставки информации потребителям от источников и зависит от:

- технических возможностей пунктов обработки информации и системы связи и передачи данных;
- структуры информационной системы;
- применяемых алгоритмов обработки информации;
- общего состояния радиолокационной системы и ее правильной функциональной направленности в условиях применения по назначению.

Основными направлениями исследования являются:

- разработка методов и синтез алгоритмов высокой производительности при объединении локационной информации в информационной системе по критерию

минимизации времени обработки;

– синтез алгоритмов обмена локационной информацией в информационной системе сетевой структуры;

– разработка способов построения и подключения перспективных и существующих систем обработки и обмена локационной информацией в многопозиционных системах.

Вместе с тем, методы и алгоритмы обработки радиолокационной и разнородной локационной информации в узлах (на серверах) информационных систем полносвязной сетевой структуры к моменту начала данного исследования отсутствовали. Соответственно, способы подключения источников, потребителей информации, комплексов средств автоматизации (КСА) к информационной системе сетевой структуры рассматривались только с точки зрения сохранения иерархической структуры систем, входящих в ФСР КВП [1, 2, 12].

Поэтому **актуальным** является проведение исследования по построению информационной системы полносвязной сетевой структуры для обеспечения:

а) минимизации времени нахождения информации в информационной системе с момента обнаружения ВО до момента поступления РЛИ потребителю, как составной части цикла управления, и сокращению длительности цикла управления в целом;

б) развития и совершенствования научно-методического аппарата обработки радиолокационной информации, позволяющему осуществлять автоматизированную и автоматическую обработку РЛИ с выбором источников с наиболее качественными информационными характеристиками;

в) оптимизации суммарного объема РЛИ, циркулирующей в сетевой структуре и обеспечения ситуационной осведомленности потребителей.

Перечисленные задачи носят комплексный, многоплановый, системный характер и составляют основное содержание **научной проблемы** исследования – повышение эффективности системы контроля воздушного пространства за счет со-

вершенствования её информационной системы сбора, обработки и обмена разнородной локационной информацией.

Исходя из анализа современных информационных концепций, теорий и способов построения единого информационного поля, полагается целесообразным для решения научной проблемы исследования применить метод сквозного синтеза [50, 51, 52]. При последовательной реализации этапов сквозного синтеза применялись различные методы системного анализа: метод структурно-параметрического синтеза [53, 54]; эвристический метод синтеза с оптимизацией по критериям [50]; декомпозиция научной проблемы, метод энтропийного подхода для сравнительных оценок эффективности информационных структур; онтологический, гносеологический, математико-алгоритмический и технический анализ с постановкой целей и выводами в соответствии с теорией системного анализа. В соответствии с методологией теории системного анализа [49, 50, 51, 53, 52, 55] произведен выбор целевой функции, критерия эффективности и критериев построения алгоритмов. Проверка функционирования системы проведена методами имитационного моделирования, натурных и полунатурных испытаний.

Цель работы

Целью работы является создание методологии построения информационной системы сбора, обработки и обмена разнородной локационной информации полносвязной сетевой структуры. Методология основана на разработке и комплексной реализации методов и алгоритмов сетевой обработки и сетевого обмена, применения разработанных способов подключения информационной системы сетевой структуры к существующим и перспективным информационным системам.

Основным критерием повышения эффективности информационной системы полносвязной сетевой структуры является минимизация времени нахождения радиолокационной информации в информационной системе.

Состояние рассматриваемых вопросов

Анализируя вопросы построения информационной системы сбора, обра-

ботки и обмена РЛИ как составной части единого информационного поля, эксперты [2, 18, 29, 56, 57] в основном соглашаются с тем, что часть вычислительных функций существующих комплексов средств автоматизации (КСА), являющихся неотъемлемыми элементами информационной системы, должна быть перенесена непосредственно в сетевую структуру информационной системы. Естественно, предлагалось применять широко известные алгоритмы традиционной третичной обработки радиолокационной информации [29].

В то же время, в некоторых работах показано [1, 38, 43], что существующие алгоритмы третичной обработки РЛИ в совокупности с иерархической структурой информационной системы не позволяют обеспечить информационный обмен в соответствии с современными, постоянно повышающимися требованиями по качеству радиолокационной информации и своевременности её доставки на пункты управления или потребителям. Применение существующих алгоритмов третичной обработки, предназначенных для иерархических информационных систем, в информационных системах сетевой структуры не приводит к ожидаемому росту эффективности этих систем в целом.

Анализ работ [2, 29, 56, 58] показывает, что недостаточно проработаны следующие вопросы построения информационной системы сетевой структуры как подсистемы ЕС ОрВД и ПВО:

- во-первых, отсутствует межведомственная программа практической реализации информационной системы полносвязной сетевой структуры сбора, обработки и обмена информацией (особенно на переходный период совместного функционирования существующей и перспективной автоматизированной системы обмена информацией);
- во-вторых, отсутствует детальная проработка функций КСА существующего парка при их использовании в качестве средств отображения и управления в информационных системах сетевой структуры;
- в-третьих, отсутствуют алгоритмы обработки РЛИ, предназначенные для сбора, обработки и обмена РЛИ в информационных системах сетевой структуры;
- в-четвертых, отсутствует согласованное понимание способов построения

информационной системы сбора, обработки и обмена РЛИ полносвязной сетевой структуры.

Особенно сложной является теоретическая и практическая проработка вопроса о передаче части функций обработки РЛИ от КСА в информационную систему сетевой структуры [57]. При этом подлежит уточнению ряд следующих вопросов [2, 18, 59, 56,]: какие функции передавать и какие алгоритмы использовать для их реализации; каким образом и какими средствами осуществлять управление обработкой РЛИ на удаленных серверах информационной системы сетевой структуры, и ряд других.

Проведенный анализ выявляет противоречие между возрастающими требованиями, предъявляемыми потребителями к качеству РЛИ, и недостаточным качеством РЛИ, доставляемой потребителям функционирующими в настоящее время автоматизированными системами управления (АСУ). Разрешение данного противоречия возможно за счет сокращения длительности цикла управления и обмена РЛИ, обусловленного уменьшением времени нахождения РЛИ в информационной системе, и реализацией принципа ситуационной осведомленности всех потребителей, подключенных к информационной системе сетевой структуры.

Общий подход к решению проблемы создания информационной системы сетевой структуры, которая может являться основой для реализации сетецентрического принципа управления, подразумевает [17, 18, 38]:

- анализ существующих систем управления, систем связи и передачи данных;
- выделение в теоретическом плане отличительных особенностей информационных систем и сетей, предназначенных, в том числе, для реализации сетецентрического принципа управления;
- анализ организационной, технической, технологической и нормативно-правовой базы построения сетецентрической сетевой структуры обмена информацией в интересах ЕАРЛС и ВС РФ.

В Российской Федерации проводятся работы по исследованию свойств и

классификации сетевидной системы, в которых обосновывается необходимость её внедрения [29, 34, 35, 60], предлагаются подходы к созданию её структуры и методики расчёта её характеристик [25, 61, 62]. Кроме того, имеется успешный опыт создания программного обеспечения, реализующего адаптацию гетерогенных вычислительных сред источников информации, каналов обмена данными различных типов со стандартными интерфейсами пользователей [63, 64]. Этот опыт может быть использован в программных приложениях в качестве «ПО промежуточного слоя» [57, 65].

Анализ опыта модернизации и разработки современных систем вооружения [18, 42, 66] показывает, что многие из них ориентированы на взаимодействие с информационной подсистемой, базирующейся на сетевой модели. Вместе с тем, эти образцы ВВТ имеют собственные, уникальные протоколы обмена информацией, не позволяющие осуществить их полноценную интеграцию в сетевую среду.

В ходе совершенствования ФСР и КВП РФ проведены мероприятия по изменению структуры ЕАРЛС, обеспечению информационной совместимости средств автоматизации различных ведомств, по модернизации технических средств автоматизации и средств передачи информации, переводу их на цифровую основу [10, 11, 12].

Следует также отметить, что в Российской Федерации проведён целый ряд работ по созданию объединённой автоматизированной цифровой системы связи ВС РФ (ОАЦСС) [67, 68, 69]. Наличие подобной системы позволяет полагать, что необходимые условия для проведения разработки отечественной сетевидной среды имеются. Этапы подобной разработки детально описаны в ряде работ [17, 18, 38].

Основной целью данного исследования является предложение методов решения, в некоторых случаях только обозначение проблемных вопросов, присущих процессу построению информационной системы полносвязной сетевой структуры. Наиболее подробно в данном исследовании рассмотрены вопросы, посвящённые разработке нового метода обработки РЛИ при вводе её в информационную систему сетевой структуры, реализации алгоритма на основе этого метода, исследованию

пределов применения этого алгоритма и его возможностей, способам подключения перспективной информационной системы к существующим системам и организацией их взаимодействия, и разработке варианта построения информационной системы полносвязной сетевой структуры в целом. С одной стороны, это объясняется тем, что подобное комплексное решение даже в вопросах моделирования представляет собой сложную многофакторную задачу, а в вопросах реализации эта задача становится очень серьезной по ответственности и большой по финансовым затратам. С другой стороны, по всем частным вопросам, приведенным в исследовании, и с учетом практического опыта построения и эксплуатации информационных систем, автор получил комплексный результат по построению информационной системы сбора, обработки и обмена радиолокационной информации полносвязной сетевой структуры. В ходе исследования реализовано определенное число составных частей и частных задач построения информационной системы полносвязной сетевой структуры. Всё вышеперечисленное, в совокупности с достаточно большим объемом экспериментальных данных, требует качественного системного анализа, встраивания в существующую методологию построения больших информационных систем, обобщения и формулирования предложений, направленных на системное развитие в качестве неотъемлемой составной части единого информационного поля.

Для реализации поставленной цели в диссертации представлено решение научной проблемы по построению информационной системы обработки и обмена локационной информацией полносвязной сетевой структуры, совершенствованию научно-методического аппарата и методологии построения больших информационных систем, позволяющего в условиях приема локационной информации от различных некогерентных пространственно-разнесенных источников, с пересекающимися зонами обнаружения, обрабатывать и передавать объединенную локационную информацию по высокоскоростным каналам связи в сетевую структуру и одновременно по прямым каналам связи потребителям при обеспечении минимального времени нахождения информации в узлах обработки и в самой информацион-

ной системе полносвязной сетевой структуры с учетом особенностей сетецентрического принципа управления.

Объектом исследования в диссертации является информационная система полносвязной сетевой структуры, в которой происходит обработка и обмен локационной информацией в масштабе времени, близком к реальному.

Предметом исследования являются методы и реализованные на их основе алгоритмы обработки локационной информации в узлах информационной системы сетевой структуры; алгоритмы, обеспечивающие информационный обмен в сетевой структуре в целом; физические и логические уровни информационных систем; способы подключения источников и потребителей информации к информационной системе сетевой структуры, а также способы подключения самой перспективной информационной системы сетевой структуры к существующим информационным системам.

Задачи работы

Для комплексного решения научной проблемы определена необходимость постановки и решения в исследовании следующих задач:

1. Анализ на основе системного подхода существующих концепций и способов построения информационных систем, основанных на сетевых и сетецентрических принципах, анализ структур и уровней информационных систем, структурно-параметрический синтез перспективной информационной системы сетевой структуры, определение критериев и ограничивающих условий синтеза метода и алгоритмов обработки информации.

2. Разработка метода и основанного на нем алгоритма обработки локационной информации в узле информационной системы полносвязной сетевой структуры по критерию минимизации времени нахождения информации в информационной системе, на примере обработки радиолокационной информации. Разработка метода обработки разнородной локационной информации с неполными данными на основе метода сетевой обработки.

3. Разработка новых и усовершенствованных частных алгоритмов обработки РЛИ в узле (на сервере) информационной системы сетевой структуры на базе математического аппарата матричной алгебры: а) предварительного отбора РЛИ; б) объединения РЛИ; в) обработки сообщений о новых воздушных объектах (ВО), поступающих на сервер; г) обработки повторных сообщений о ВО, поступающих на сервер; д) обработки повторных сообщений о ВО, поступающих на сервер в случае нарушений в работе канала передачи данных; е) отбора РЛИ для выдачи потребителю.

4. Разработка комплексного алгоритма, обеспечивающего на более высоком, системном уровне обмен РЛИ в информационной системе сетевой структуры в целом.

5. Синтез методологии построения и реализация информационной системы полносвязной сетевой структуры на основе разработанных методов, алгоритмов, способов подключения источников и потребителей локационной информации, разработка практических рекомендаций по конструкции и функциям терминала обработки информации и его использованию в качестве базовой ячейки (узла) информационной системы полносвязной сетевой структуры.

6. Исследование эффективности разработанных алгоритмов обработки локационной информации с использованием математической имитационной модели сервера информационной системы полносвязной сетевой структуры.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Анализ и обоснование выбора структуры перспективной информационной системы сбора, обработки и обмена РЛИ, результатом которого являются: введение новой подсистемы АСУ – автоматизированной системы обработки и обмена РЛИ, запатентованный и экспериментально исследованный способ подключения источников и потребителей к сетевой информационной структуре, позволяющие обеспечить использование свойств сетевых структур для сокращения времени нахождения РЛИ в информационной системе.

2. Запатентованный, экспериментально и с помощью имитационного моделирования исследованный метод и реализованный на его основе алгоритм сетевой обработки радиолокационной информации, отличающийся от метода третичной обработки последовательностью этапов обработки, одновременной обработкой только одного сообщения от источника РЛИ, и позволяющий осуществлять сбор и объединение РЛИ на серверах сетевой информационной структуры с существенным сокращением времени обработки РЛИ (не более нескольких миллисекунд).

3. Оценка вероятности объединения радиолокационной информации методом сетевой обработки, в отличие от известных приближенных подходов, позволяющая точно определить, задать и проверить экспериментально и методом имитационного моделирования правильную вероятность объединения РЛИ при сетевой обработке, вычислить размеры стробов точного отбора.

4. Разработка и математическое моделирование эффективности новых и усовершенствованных частных методик и алгоритмов обработки массивов данных, содержащих РЛИ, основанных на математическом аппарате матричной алгебры: предварительного отбора, объединения, обработки сообщений о новых воздушных объектах, обработки повторных сообщений о сопровождаемых воздушных объектах, обработки повторных сообщений о воздушных объектах в случае нарушений в работе канала передачи данных, отбора информации из информационной системы для выдачи потребителю. Применение матричной обработки позволяет сократить время обработки больших массивов данных (свыше 1000 трасс воздушных объектов).

5. Запатентованный комплексный алгоритм системного уровня для обеспечения обмена РЛИ в информационной системе сетевой структуры в целом, отличающийся от существующих алгоритмов анализом содержания сообщений о воздушных объектах и позволяющий отсеивать задержанную, недостоверную и повторяющуюся информацию в сети.

6. Результаты обработки экспериментальных данных и имитационного моделирования, позволяющие оценить достоверность, производительность и границы применимости разработанных алгоритмов в информационной системе сетевой

структуры. Способы построения информационных систем сетевой структуры.

В исследовании предложено построение дополнительной информационной системы сетевой структуры в качестве подсистемы. Это решение позволяет осуществлять обработку и обмен разнородной локационной информацией как в существующих, так и в перспективных информационных системах с существенным сокращением времени нахождения информации в системе и, соответственно, сокращением цикла управления в целом.

Научной новизной работы является методология построения информационных систем в предметной области обработки радиолокационной и разнородной локационной информации, которая позволяет строить системы с малым временем доставки информации от источников потребителям, масштабируемые, более надежные и более выгодные экономически. Методология отличается от известных подходов использованием сочетания свойств сетевой архитектуры системы и новых разработанных методов обработки гетерогенной информации, разделением функций управления и обработки данных о воздушных объектах.

В исследовании выделяются следующие основные элементы научной новизны:

1. Новый запатентованный метод и реализованный на его основе алгоритм обработки радиолокационной информации в узле информационной системы сетевой структуры, отличающийся от известного метода третичной обработки последовательностью этапов обработки и одновременной обработкой только одного сообщения от источника информации, позволяющий значительно сократить количество гипотез при обработке сообщений и время обработки в узле информационной системы. Усовершенствованный метод позволяет объединять разнородную (радиолокационную, оптическую, ИК, радиотехническую и др.) информацию, в том числе по неполным данным, для обеспечения задач сопровождения и распознавания малогабаритных БПЛА (МБПЛА) в масштабе времени, близком к реальному.

2. Совместный структурно-параметрический синтез информационной системы контроля воздушного пространства, позволивший выявить взаимосвязь

свойств алгоритмов обработки РЛИ и свойств структуры информационной системы.

3. Способы подключения информационной системы сетевой структуры к существующим и перспективным информационным системам различных видов структур, отличающиеся выделением информационной системы сбора, обработки и обмена информацией в отдельную подсистему, предназначенную для решения задач обработки и обмена информацией.

4. Математически строгая оценка вероятности правильного объединения РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, в отличие от известных приближенных подходов, а также решение обратной задачи – вычисление размеров стробов точного отбора по заданной вероятности объединения.

5. Феноменологическая модель информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; с определением границ применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов.

6. Методики и алгоритмы обработки локационной информации в узле (на сервере) информационной системы сетевой структуры на базе математического аппарата матричной алгебры, позволившие сократить время обработки больших массивов данных (свыше 1000 трасс воздушных объектов).

7. Комплексный алгоритм, обеспечивающий в целом, на системном уровне, обмен локационной информацией в информационной системе сетевой структуры.

8. Информационная система сетевой структуры, в соответствии с разработанной методологией являющаяся подсистемой по отношению к автоматизированной системе управления. Система представляет собой сеть с распределенным векторным вычислителем, формирующим однородный динамический массив локационной информации. Функциональность векторного вычислителя реализуется на основе совокупности разработанных методов, алгоритмов обработки и обмена локационной информации.

В целом, научная новизна диссертации подтверждена 14 патентами на изобретения, полезные модели и свидетельствами на программы, одной заявкой на патент.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

– разработан новый метод объединения локационной информации, предназначенный для функционирования в информационных системах сетевой структуры, отличающийся от метода третичной обработки последовательностью этапов обработки и одновременной обработкой только одного сообщения от источника РЛИ, позволяющий значительно сократить количество гипотез при обработке сообщений;

– проведено обобщение и модификация разработанного метода сетевой обработки радиолокационной информации на любую локационную информацию, включая оптические, ИК, радиотехнические и другие датчики-измерители, разработан способ объединения разнородной информации по неполным данным от пространственно разнесенных некогерентных источников;

– предложена феноменологическая модель информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; определены границы применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов;

– разработана методология построения информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей на основе предложенных принципов, методов, этапов и алгоритмов обработки информации и построения системы.

Практическая значимость работы определяется:

– в возможности использования разработанного алгоритма и методик обработки и объединения РЛИ в узлах (на серверах) информационной системы полносвязной сетевой структуры, а также при модернизации существующих комплексов

средств автоматизации для встраивания их в сетевую систему обмена информацией;

– в возможности применения разработанного алгоритма объединения разнородной локационной информации, в том числе по неполным данным, от пространственно разнесенных некогерентных источников в комплексах обнаружения малогабаритных воздушных объектов (МБПЛА);

– в возможности реализации способов подключения сервера, источников и потребителей информации к информационной системе сетевой структуры или к информационной системе существующей иерархической структуры;

– в разработке практических рекомендаций по конструкции и функциям терминала обработки РЛИ и его использованию в качестве базовой ячейки (узла) информационной системы полносвязной сетевой структуры.

Внедрение результатов работы

Содержащиеся в диссертации результаты внедрены:

– в разработанных алгоритмах и фрагменте информационной системы полносвязной сетевой структуры в составной части ОКР «Азалия», в построении систем связи и передачи данных серийно выпускаемых РЛС и РЛК, в АО «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники» (г. Нижний Новгород);

– в алгоритмах обработки радиолокационной информации в перспективной системе обнаружения малогабаритных воздушных объектов, в АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (г. Тула);

– при модернизации аппаратуры передачи данных и Wi-Fi, в АО «ОС ИНФОКОМ» (г. Санкт-Петербург);

– в учебном процессе на кафедре радиотехники радиофизического факультета ННГУ им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород).

Внедрение подтверждается актами, приложенными к диссертации.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов и выводов проведенных исследований

Обоснованность теоретических положений диссертационного исследования основана на использовании классических методов системного анализа, математической статистики, теории вероятностей, теории матриц, статистической радиотехники, теоретической радиолокации и статистической радиофизики. Исследования, проведенные в работе, базируются на методах математического имитационного моделирования, полунатурных и натуральных экспериментах, а также на численных методах расчета.

Исследование опирается на современные достижения науки, техники, информационных технологий, с учетом существующих алгоритмов и методик обработки и обмена информации, существующих протоколов функционального взаимодействия между источниками и потребителями информации, требований по времени обработки и доставки информации, особенностей построения структуры обмена информацией и техническими возможностями современных цифровых систем связи.

Экспериментальные проверки, проводимые в ходе различных этапов НИОКР и испытаний, обеспечивают необходимую достоверность результатов и подтверждаются сопоставлением результатов полунатурных и натуральных испытаний с результатами математического имитационного моделирования.

Полученные в работе результаты согласуются с современными научными представлениями и данными, полученными при обзоре и анализе отечественных и зарубежных источников. Результаты, полученные в ходе работы, подтверждаются обсуждением и публикациями в научных изданиях, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК.

Наличие действующих патентов на изобретения, полезные модели и свидетельств на программы подтверждают новизну и приоритет полученных в ходе исследования результатов.

Основные положения диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях, включая международные.

Публикации и апробация результатов работы

По теме диссертации автором опубликовано 56 работ, из них: 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК; 14 патентов РФ на изобретения, полезные модели и свидетельства на программы, 1 заявка на патент; 7 статей и тезисов докладов в сборниках трудов международных научных конференций; 4 статьи и тезиса докладов в сборниках трудов всероссийских научных конференций и всероссийских печатных изданиях; 9 статей и тезисов докладов в сборниках трудов региональных научных конференций, 1 отчет по ОКР.

Основные экспериментальные результаты работы получены при выполнении исследований, проводившихся в 2008 – 2015 гг. в рамках НИР «Ядро», «Паутина», ОКР «Азалия», составных частей ОКР по разработке радиолокационных станций и комплексов. Основные теоретические и часть экспериментальных результатов получены в ходе выполнения исследований в ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в том числе в рамках научного проекта «Интеллектуальные системы контроля воздушного пространства» передовой инженерной школы ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Они опубликованы в 19 статьях [7, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87], тезисах докладов, защищены четырнадцатью патентами на изобретения, полезные модели и свидетельствами на программы, заявкой на патент [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102].

Результаты диссертационной работы докладывались на XII всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения» (г. Ярославль, 2011 г.), на XII всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения» (г. Ярославль, 2011 г.), на IX Всероссийской научно-технической конференции «Радиооптические технологии в приборостроении» (г. Туапсе, 2012 г.), на Международной военно-научной конференции УО «Военная академия Республики Беларусь» «Современная военно-техническая политика: проблемы и перспективы» (г. Минск, 2013 г.), на Международной военно-научной конференции «Проблемные вопросы развития системы противовоздушной обороны в современных условиях» (г. Минск, 2016 г.), , на XIV Международной научной конференции «Перспективные

технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2021» (г. Владимир, 2021 г.), на XIV Международной научной конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2021» (г. Владимир, 2021 г.), на VIII Всероссийской научно-технической конференции «Технологии создания и перспективы применения информационных средств Воздушно-космической обороны (ВКО)» (г. Москва, 2021 г.), на XXVIII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», посвященной памяти Б. Я. Осипова (г. Воронеж, 2022 г.), на XXVIII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ (г. Воронеж, 2023 г.), на Международной научно-технической конференции «Современная элементная база радиоэлектроники и её применение» (6-я конференция имени О.В. Лосева, посвящённая 120-летию со дня рождения О. В. Лосева, г. Нижний Новгород, 2023 г.), на XXIV, XXV и XXVI научных конференциях по радиофизике РФФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского в 2020, 2021, 2022, 2023 гг.

Личный вклад

Основные теоретические результаты, выводы и заключения получены автором в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского. Основная часть экспериментальных исследований и выводов на их основе получена и проведена автором в ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники» (ННИИРТ) и в ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Комплексный характер работ, проводимых в рамках диссертационного исследования, обусловил объединение усилий нескольких коллективов специалистов и организаций, которые принимали участие в проведении теоретических и экспериментальных исследований. В целом указанные исследования под руководством и при личном участии автора проводились в течение более 19 лет.

Результаты и положения, выносимые на защиту, составляют основное содержание диссертационной работы. Они разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии. При постановке задач и их исследовании в

большинстве работ, патентов и свидетельств, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит ведущая роль.

К числу полученных лично автором значимых результатов следует отнести:

1. Новый, запатентованный метод сетевой обработки радиолокационной информации для применения в узлах (на серверах) информационных систем полносвязной сетевой структуры.

2. Запатентованный способ подключения серверов информационной системы сетевой структуры к существующим автоматизированным системам управления, входящим в состав больших радиолокационных систем.

3. Разработка новых и усовершенствованных методик и алгоритмов обработки РЛИ на серверах (в узлах) информационной системы сетевой структуры на основе математического аппарата матричной алгебры.

4. Обоснование метода объединения разнородной локационной информации от пространственно разнесенных некогерентных источников по неполным данным, позволяющего объединять разнородную информацию, в том числе в целях распознавания МБПЛА в масштабе времени, близком к реальному.

5. Запатентованный комплексный алгоритм обмена РЛИ в информационной системе сетевой структуры на системном уровне.

6. Обоснование феноменологической модели информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; определены границы применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов.

7. Синтез методологии построения и на её основе реализация фрагмента информационной системы полносвязной сетевой структуры комбинированной схемы с применением разработанных методов, алгоритмов, способов подключения источников и потребителей РЛИ, и проведение его испытаний (в качестве главного конструктора ОКР).

Таким образом, личный вклад автора в выдвижении идей, постановке задач, разработке основных положений и гипотез, обосновании решений и научных рекомендаций, в постановке задач имитационного моделирования и натуральных испытаний, в интерпретации их результатов, носит определяющий характер.

Область исследования соответствует пунктам 4, 5, 6, 7, 10, 11, 15 паспорта специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»: разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации; методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем; методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах; методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов; теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения и приложения. Объем диссертации составляет 328 страниц, включая 305 страниц основного текста. Список использованных источников содержит 209 наименований и приведен на 24 страницах.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, проведена оценка состояния рассматриваемых вопросов, определены научная проблема, объект, предмет, цель и рамки исследования, а также приведены основные направления исследования и

научные задачи, решаемые в ходе исследования.

В первом разделе рассмотрены существующие подходы к построению единого информационного поля и информационных систем ФСР КВП, ЕС ОрВД и ПВО, с учетом различия структур, свойств информации и современных сетевых концепций. Проанализированы теоретические и практические предложения отечественных и зарубежных авторов по реализации концепции единого информационного поля. Обоснована возможность применения сетевой структуры информационной системы в интересах ЕС ОрВД, ПВО ВВС для обеспечения обмена РЛИ и взаимодействия с существующей автоматизированной системой управления. Сформулированы основные требования к базовым элементам информационной системы сетевой структуры – терминалам (серверам); определены условия и ограничения, при которых осуществляется обработка РЛИ в информационной системе. Для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы – эффективности адекватного отображения воздушной обстановки введен интегральный показатель информационных потерь, характеризующий объединенные на основе совокупности нескольких обобщенных свойств системы и связанный монотонной зависимостью с качеством надсистемы. Максимизация эффективности радиолокационной системы как целевой функции от интегрального показателя информационных потерь по минимизации критерия времени нахождения информации в информационной системе является основной задачей исследования.

Во втором разделе разработана феноменологическая модель и проведен системный анализ информационной системы сетевой структуры. Показано преобразование существующей информационной системы иерархической структуры в перспективную информационную систему полносвязной сетевой структуры. Определена структура исследования с применением метода сквозного синтеза. Осуществлена формализованная постановка задачи структурно-параметрического синтеза системы, определены ограничивающие условия и дополнительные критерии для решения задач на последующих этапах сквозного синтеза. Введен новый уровень автоматизированной системы управления – автоматизированная система обмена и

обработки информации (АСОИ). Определены условия функционирования и разработан способ подключения сервера, источников и потребителей к информационной системе сетевой структуры.

В третьем разделе представлено обоснование метода и алгоритма сетевой обработки радиолокационной информации. Разработан научно-методический аппарат обработки РЛИ в информационной системе, имеющей полносвязную сетевую структуру. Определена последовательность выполнения задачи объединения РЛИ с учетом особенностей и требований функционирования сервера. Разработана методика оценки вероятности объединения РЛИ и правило принятия решения по объединению сообщений о ВО на основе критерия максимума правдоподобия.

В четвертом разделе совершенствуется научно-методический аппарат обработки РЛИ в информационной системе сетевой структуры. В рамках этого научно-методического аппарата разработаны способы обработки РЛИ с применением математического аппарата матричной алгебры, частные алгоритмы обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры: сбора, объединения, обновления, подготовки к выдаче и выдаче РЛИ потребителю, а также внесения изменений о ВО в динамические массивы данных и восстановления данных о ВО в этих массивах.

В пятом разделе проанализированы новые возможности перспективной информационной системы полносвязной сетевой структуры, в частности, применение абсолютных координат, использование нового метода обработки информации – агрегирования, проведено сравнение информационных систем иерархической и сетевой структур на предмет величины времени нахождения информации в системе с точки зрения временных задержек и с точки зрения информационной энтропии. Разработана методика оценки максимальной пропускной способности каналов обмена информацией в информационной системе сетевой структуры на основе информационно-энтропийного подхода с учетом оценки объема информации о ВО в существующих диапазонах РЛС, а также на основе временных задержек информации в системе. Разработаны предложения по построению информационных систем

сетевой структуры на основе объединения «дейтацентрических» объектов. Проведен анализ информационных потоков в низкоскоростных каналах связи с целью определения степени применимости в терминалах автоматизированной системы обмена и обработки информации (АСООИ).

Исследована возможность технической реализации предложенных алгоритмов обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, а также варианты взаимодействия информационных систем существующей иерархической структуры обмена информацией и перспективной сетевой структуры обмена РЛИ в АСУ.

В шестом разделе разработана имитационная модель сервера информационной системы сетевой структуры. С помощью математической модели исследуется эффективность и границы применимости разработанных алгоритмов сетевой обработки РЛИ на сервере. Анализируются среднее и максимальное значения времени задержки при обработке, динамика их изменения в зависимости от данных о воздушной обстановке, поступающих на сервер от источников РЛИ.

В результате анализа экспериментальных результатов объединения информации от разнородных источников по неполным данным сделан вывод о возможности такого объединения, алгоритм сетевой обработки дополнен дополнительным этапом экстраполяции по неполным данным.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

В Приложении А приведены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

Диссертация выполнена в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского. Соискатель выражает слова глубокой благодарности всем коллегам в АО «ФНПЦ «ННИИРТ», непосредственно принимавшим участие в создании опытного образца фрагмента информационной системы сетевой структуры и проведении испытаний.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В главе 1 рассматриваются и анализируются с точки зрения системного анализа основные современные концепции и примеры построения информационных систем в Российской Федерации и за рубежом. Исторически первоначальное развитие подобных концепций происходило в военной сфере, поэтому для анализа и примеров выбран ряд доступных источников. Основное внимание уделено сокращению длительности цикла управления за счет совершенствования обработки информации и организации информационного обмена, отдельно отмечаются требования и условия, при которых должны функционировать перспективные информационные системы. Обосновывается выбор критериев для оценки эффективности информационной системы как целевой функции от времени нахождения информации в системе, выбор структуры перспективной информационной системы обработки и обмена локационной информацией [73, 77, 78, 79, 81, 83, 84, 88, 89, 142, 145, 170, 171, 172]. Раздел 1 является частью 1-го этапа метода сквозного синтеза – формирование исходных данных.

1.1 Состав и структура информационной системы сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства.

За более чем 25 лет своего существования Федеральная система разведки и контроля воздушного пространства прошла ряд этапов совершенствования своей структуры, и в настоящее время структурная схема Единой автоматизированной радиолокационной системы (ЕАРЛС), как информационно-технической основы ФСР и КВП, имеет вид, приведенный из работы [12] на рис. 1.5

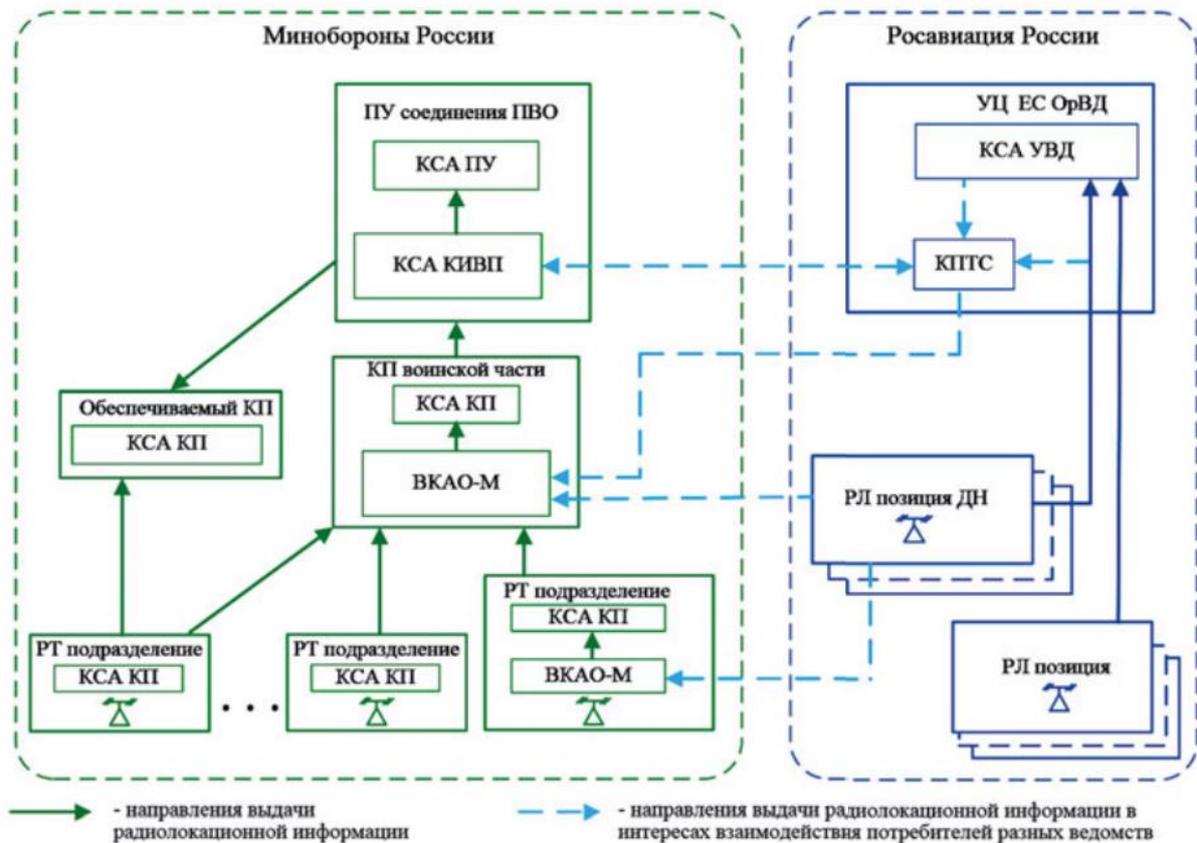


Рис. 1.5 Структурная схема ЕАРЛС, реализованная в результате выполнения федеральной целевой программы

Анализ структурной схемы ЕАРЛС показывает две важные особенности существующей информационной системы, входящей в её состав. Во-первых, структура информационных систем, принадлежащих и Министерству обороны РФ, и Росавиации России, является иерархической. Это видно по направлениям сбора и выдачи радиолокационной информации. Во-вторых, обмен информацией взаимодействия реализуется только на определенных уровнях систем Министерства обороны РФ и Росавиации России, то есть выдача радиолокационной информации от любого источника любому потребителю не предусмотрена. Соответственно, на этих уровнях проведена унификация протоколов обмена РЛИ, средств связи и автоматизации информационных систем Министерства обороны РФ и Росавиации России.

Проблемой и причиной задержки РЛИ от источников до пунктов управления самого верхнего уровня при обработке в узлах иерархической структуры и при обмене РЛИ в системе является многоступенчатая обработка, особенно при резком

возрастании плотности воздушных объектов и усложнении воздушной обстановки, которая не позволяет осуществить более быструю доставку РЛИ от источников потребителям [43, 77, 78].

В настоящее время развитие и совершенствование ЕАРЛС и ФСР и КВП в целом продолжается, и сокращение времени нахождения РЛИ в информационной системе является её важным показателем. Поэтому разрабатываются планы совершенствования ЕАРЛС на предмет введения в её состав интегрированной цифровой телекоммуникационной сети [12]. Перспективная структура интегрированной радиолокационной системы двойного назначения представлена в работе [12] и показана на рисунке 1.6:

Анализ структуры интегрированной радиолокационной системы двойного назначения с точки зрения информационной системы показывает, что интегрированная цифровая телекоммуникационная сеть осуществляет сбор и выдачу радиолокационной информации взаимодействия между информационными подсистемами Министерства обороны и Росавиации РФ, которые по-прежнему имеют иерархическую структуру. Отдельно можно отметить тот факт, что в перспективной интегрированной радиолокационной системе двойного назначения отсутствуют специально выделенные позиции двойного назначения, а следовательно, и специально унифицированные средства связи и автоматизации для обеспечения выдачи радиолокационной информации взаимодействия в соответствии с уровнями радиолокационных систем Министерства обороны РФ и Росавиации России, как было показано на рис. 1.5.

В работах [11, 12, 67, 68, 69, 192, 193] сформулированы общие функции, которые должна выполнять интегрированная цифровая телекоммуникационная сеть, а также определено её место в структуре интегрированной радиолокационной системы двойного назначения. Принципы функционирования и структура самой интегрированной цифровой телекоммуникационной сети, вместе с системами обработки РЛИ и управления потоками РЛИ, в указанных работах не приводятся и, следовательно, подлежат дальнейшей разработке.

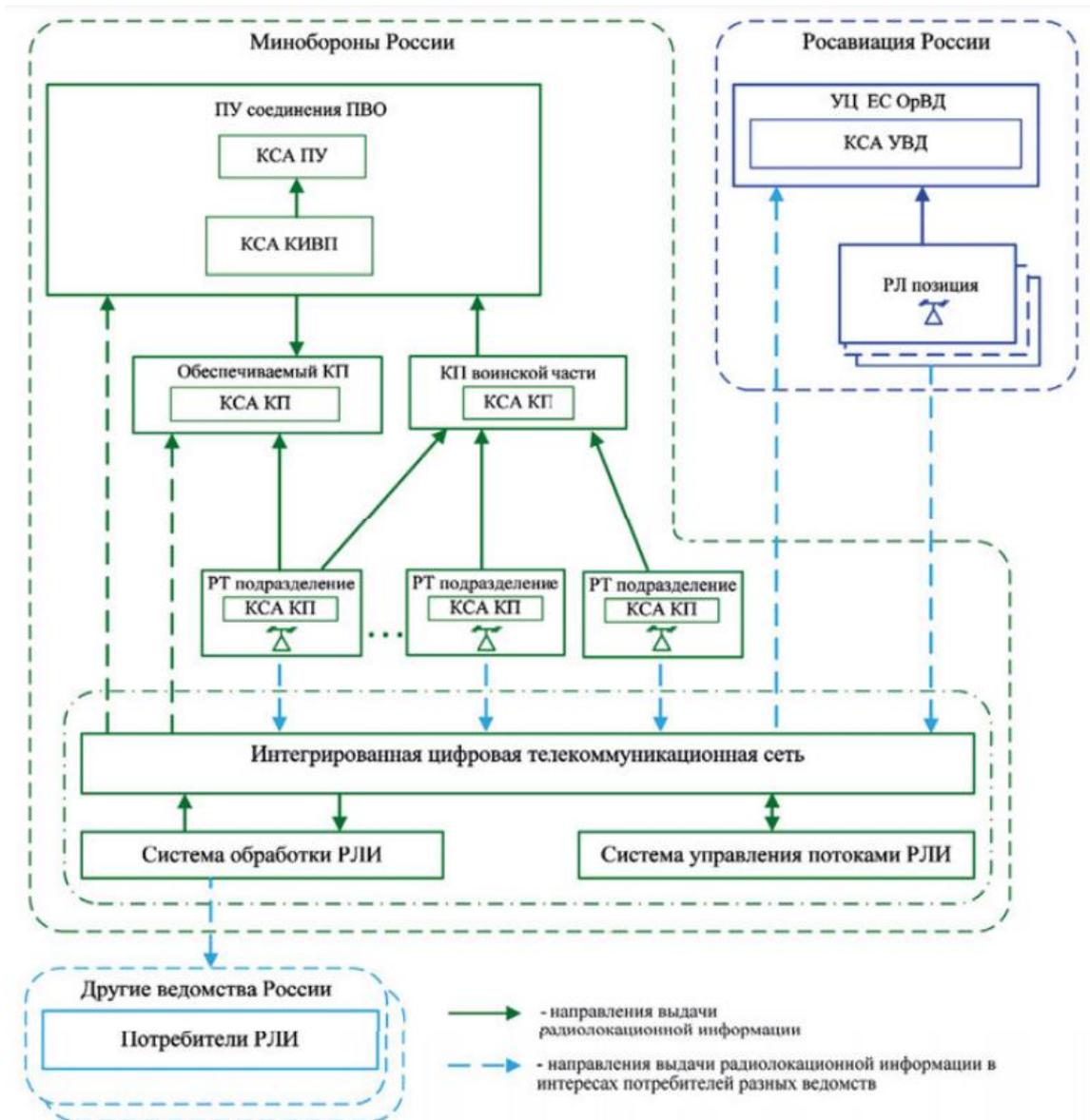


Рис. 1.6. Структура интегрированной радиолокационной системы двойного назначения

Поэтому актуальной является научная задача [84] по разработке принципов и алгоритмов функционирования, а также структуры интегрированной цифровой телекоммуникационной сети, которая должна являться единым промежуточным звеном между источниками и потребителями, с одной стороны, и двумя информационными системами – Министерства обороны РФ и Росавиации России, с другой. Особенностью интегрированной цифровой телекоммуникационной сети является сбор, обработка и организация обмена локационной информации от источников – РЛС, РЛК, и, по мнению автора, оптических, радиотехнических и других средств,

задействованных для обнаружения воздушных объектов. Локационная информация от разнородных источников поступает в интегрированную цифровую телекоммуникационную сеть несинхронно и аperiodично. Кроме того, один и тот же воздушный объект может находиться в пересекающейся зоне обнаружения от разных источников. Эта особенность влечет за собой необходимость обработки вторичной радиолокационной информации перед вводом её в информационную сеть сетевой структуры, в противном случае в сети будут находиться повторяющиеся сообщения об одних и тех же объектах от разных источников, имеющие разное время локализации (обнаружения). То есть одновременно с построением информационной системы сетевой структуры должна быть решена задача разработки нового алгоритма сетевой обработки локационной информации перед вводом её в систему.

1.2 Краткий анализ концепции «сетевых войн» с точки зрения информационной составляющей

Современные концепции развития вооруженных сил в большинстве ведущих стран мира широко используют понятие Network Centric Warfare (NCW), дословно – «сетевое обеспечение боевых действий», или более известное как «сетевая война») [22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 33, 37, 38, 41, 44, 57, 61, 81, 105, 108, 109, 112, 114, 148, 151, 154, 203]. В настоящее время за рубежом, прежде всего в США, приняты концептуальные документы по развитию глобальной информационной сети [25, 37], по изменению способов военного управления [20], которые требуют внесения изменений в боевые документы и уставы в соответствии с открывающимися возможностями ведения «сетевой войны», по практическому внедрению в новую сетевую структуру уже разработанных образцов вооружения, боевых платформ и систем в целом.

Термин NCW и сама концепция «Сетевая война» были выдвинуты известными военными экспертами США бывшим начальником управления по реформированию ВС США адмиралом А. Цебровски, экспертом Комитета начальников штабов Дж. Гарсткой и специалистом аппарата помощника министра обороны

США Д. Альбертсом в 1998 г. в рамках создания теоретической базы, обосновывающей основные принципы управления вооруженной борьбой в информационную эпоху [33]. Одним определений концепции является следующее: *«Сетецентрическая война – ориентированная на достижение информационного превосходства концепция проведения военных операций, предусматривающая увеличение боевой мощи группировки объединенных сил за счет создания единой информационно-коммуникационной сети, связывающей датчики (источники данных), лиц, принимающих решения, и исполнителей, что обеспечивает доведение до участников операций информации об обстановке, ускорение процесса управления силами и средствами, а также повышение темпа операций, эффективность поражения сил противника, живучесть своих войск и уровень само-синхронизации боевых действий»*¹. [161].

Новый тип войн в понимании зарубежных экспертов представляется как эволюция видов вооруженной борьбы [37, 105], затрагивающая все существующие сферы (политическую, экономическую, социальную и собственно военную), действия в которых используются для убеждения военно-политического руководства вероятного противника в недостижимости его стратегических целей или чрезмерных затратах для выполнения поставленных задач.

С начала 2000-х гг. в НАТО на основе базовой концепции NCW реализуется концепция «Комплексные сетевые возможности» (NATO Network Enabled Capabilities – NNEC), которая предназначена для решения вопросов организации взаимодействия высокотехнологичных формирований зарубежных ВС в современных и будущих вооруженных конфликтах [25, 33, 37]. Для оптимизации мероприятий, проводимых в рамках реализации концепции NNEC, был сформирован и специальный международный консорциум NCOIC, который должен обеспечить единство протоколов обработки и представления информации, помочь промышленности в выполнении требований по достижению необходимого уровня взаимодействия и интеграции перспективных систем и комплексов. Взаимосвязь основных программ НАТО показана на рис. 1.4.

¹Net-Centric Environment Joint Functional Concept // DOD. 2005. - Appendix B. Glossary.

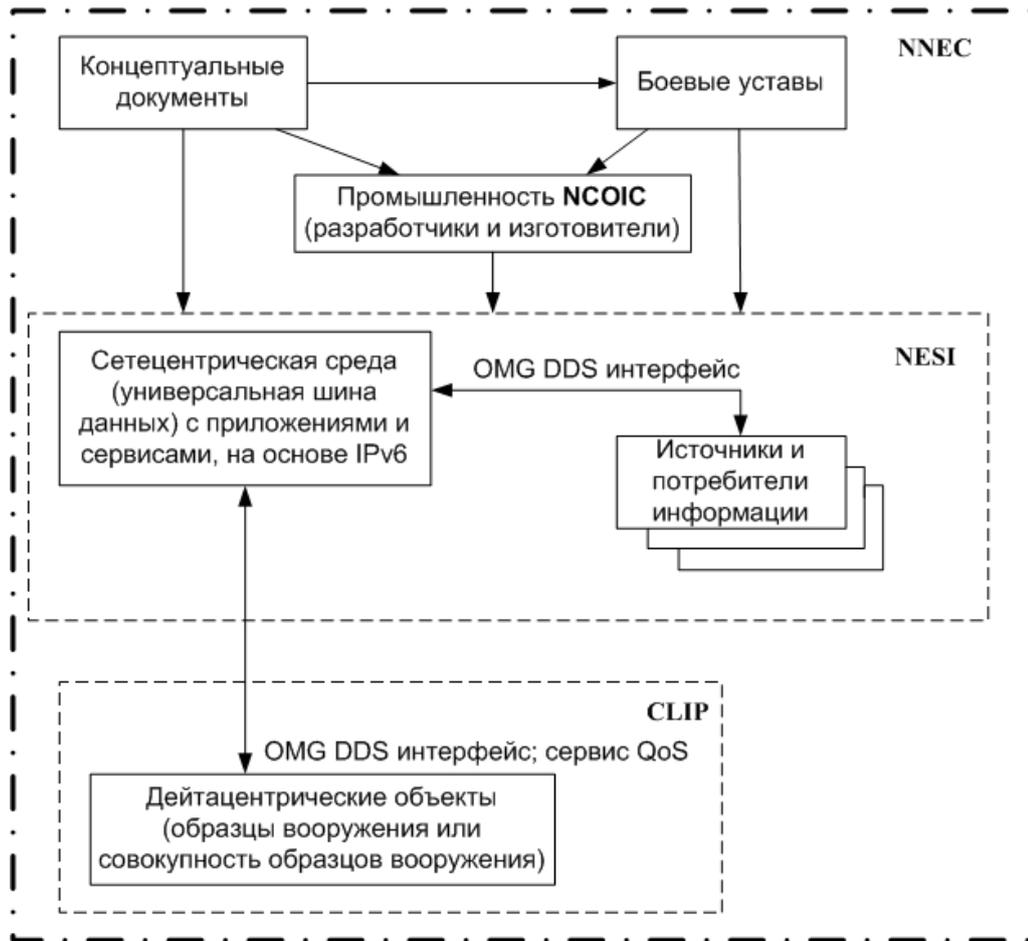


Рисунок 1.4 – Взаимосвязь основных программ НАТО

Противодействие современным вызовам и угрозам национальной и коалиционной безопасности является главной целью концепции «Комплексные сетевые возможности» НАТО, осуществляемой с помощью внедрения перспективных информационных технологий в военную сферу [33, 37]. Проводимые с этой целью мероприятия осуществляются НАТО по трем основным направлениям:

- развертывание современных систем связи и передачи данных, разработка перспективных систем обработки, анализа и распределения информации, использующих унифицированные инструментариумы ее обработки и форматы передачи;
- формирование современной когнитивной сферы, включающей вопросы реформирования и оптимизации организационных структур органов управления, обработки и анализа информации;
- пересмотр уставных и доктринальных документов и подготовка личного состава.

Военные специалисты НАТО подчеркивают, что NNEC – это не только интеграция систем управления и связи, но и возможность повысить уровень взаимодействия всех участников операции (боевых действий), в том числе и средств поражения, органов и пунктов материально-технического обеспечения и др. При этом особое внимание уделяется реформированию разведывательного обеспечения [21, 22, 23, 27, 28, 40]. Объединяя средства разведки сетью и позволяя им обмениваться информацией между собой, руководство ВС США пытается достичь синергетического эффекта, при котором комбинированное действие двух или нескольких разведывательных средств превышает эффективность, обеспечиваемую простым суммарным действием этих средств.

Проводимые мероприятия позволят перейти к новому принципу осуществления всего разведывательного обеспечения «адаптивное взаимодействие» (Reach-in) и осуществить масштабные преобразования системы разведки [14, 15]. Этот принцип дает возможность пользователям глобальной информационно-управляющей сети GIG (Global information grid) иметь доступ к информации из различных источников, в том числе от соседних компонентов объединенных сил США.

Не меньшее значение «сетевые» принципы играют и при организации объединенного огневого поражения. Это обусловлено тем, что главным недостатком разрабатываемых ранее систем разведки и доведения информации до средств поражения было полное отсутствие взаимодействия с другими аналогичными системами. Применительно же к ВС США уже сейчас возможно говорить не об отдельных разведывательно-ударных комплексах, а об единой «системе систем» [37, 191], функционирующей в рамках концепции ведения боевых действий в едином информационном пространстве.

В соответствии с единой концепцией развития ВС США Пентагон создает Глобальную информационную матрицу² (GIG), с помощью которой будет осуществляться в реальном времени управление мобильными и компактными смешанными вооруженными формированиями в любой точке земного шара. Любая боевая

² DODD 8101.1, Global Information Grid (GIG), Over arching Policy, 19 September, 2002

платформа (танк, самолет, спутник, корабль, в перспективе – отдельный военно-служащий) в зависимости от условий обстановки и решаемых задач сможет выступать, будучи включенной в «матрицу», одновременно как средство поражения, источник разведывательной информации, канал связи и элемент системы планирования и принятия решения.

Руководство вооруженных сил многих стран (не только членов НАТО) развивает деятельность в направлении применения информационных достижений в военном деле. При этом, правда, используется различная терминология. Так, например [33, 37], командование Вооруженных сил США использует термин «сетцентрическая война» (NCW – Network Centric Warfare). Вооруженные силы Великобритании ориентированы на «Комплексные сетевые возможности ВС» (NEC – Network Enabled Capability), положенные в основу концепции НАТО NNEC. Франция использует термин «информационно-центрическая война» (ICW – Info-Centric Warfare), Швеция – «оборона (защита), базирующаяся на использовании сетей связи», «сетевая оборона (защита)» (NBD – Network Based Defense). В Вооруженных силах ФРГ создается сетевой информационный ресурс – ROBOCROP (Role-Based Common Relevant Operational Picture – «Единая функционально-ориентированная картина тактической обстановки»), представляющий собой базу данных с разграниченной в зависимости от уровня иерархии и поставленных боевых задач степенью доступа. Вооруженные силы Нидерландов используют оперативную концепцию «сетцентрические операции» (NCO – Network Centric Operations).

Британский подход наиболее развит и более прагматичен [33]. Эти обстоятельства определяют ряд отличий концепций «сетцентрических войн» NCW и «комплексных сетевых возможностей» NEC. Последняя не ставит целью развитие глобальной информационной сети ради самой сети, а предполагает встраивание в интегрированное боевое пространство существующих и перспективных образцов вооружения. Соответственно, этот подход не требует таких огромных финансовых вложений, как подход США, и предполагает некоторую автономность от создаваемой США глобальной информационной сети.

Китай также серьезно работает над сетецентрической концепцией управления и ведения боевых действий [26, 37]. В документах Народно-освободительной армии Китая встречается термин «интегрированная сетевая и электронная война»³. Именно она и является отражением современной китайской концепции, сравнимой с концепцией «сетецентрическая война» ВС США.

Следует отметить, что многие военные эксперты относятся к концепции Net-Centric Warfare с изрядной долей сомнения [25, 44, 155, 156]. По их мнению, уверенность в том, что «объединение сетью» позволит решить любые возникающие проблемы – одно из наиболее распространенных заблуждений. Сети, как и все компьютерные системы, работают по принципу «мусор на входе – мусор на выходе» [25], то есть неверно введенные данные не могут привести к правильному результату. Более того, перспективные «сетецентрические» концепции следует рассматривать только как инструмент повышения боевых возможностей войск, ни о каком увеличении потенциала ВВТ или боевого формирования речь не идет [25].

Кроме того, иностранные специалисты отмечают [25, 44], что не было проведено достоверных исследований в плане математического обоснования возможностей повышения боевой эффективности формирований модульного типа при объединении их системой единого информационно-коммуникационного обеспечения. Вероятно, именно поэтому даже в США сообщество военных экспертов разделилось на три группы: сторонников, противников и серьезно сомневающих в подобной концепции [155].

Сторонники «сетецентрических» концепций утверждают, что формирование единого информационно-коммуникационного пространства, позволяющего каждому участнику боевых действий иметь точные данные о боевой обстановке, повышает уровень взаимодействия, самосинхронизации, скорость управления подчиненными силами, а в итоге – и боевые возможности формирований.

Противники «сетецентрических» концепций утверждают, что принцип «пер-

³ Integrated Network-Electronic Warfare – INEW

вым увидел и первым начал действовать», который и лежит в основе создания частей и подразделений сухопутных войск «нового типа» (модульных бригад), может провалиться в том случае, если темп операции будет опережать способность американского командования оценивать ситуацию и принимать правильные решения. Более того, они отмечают, что «сетцентризм» – это тезис, не только переоценивающий значения информации и информационных технологий, но, одновременно с этим, и не способный полностью реализовать имеющиеся потенциальные боевые возможности. По мнению некоторых экспертов, обилие всевозможной информации может привести к путанице и неразберихе. В результате этого эффективность управления только снизится. Кроме того, потребуется обеспечить достаточную пропускную способность каналов сети связи и их безопасность.

Сомневающиеся эксперты отмечают, что принудительное навязывание сверху «сетцентрических» принципов может задушить разумную критику новой концепции со стороны командиров как оперативного, так и тактического звеньев управления. Эти эксперты допускают вероятность того, что в конечном счете Пентагон может реформировать вооруженные силы не для проведения военных операций, а для таких войн и вооруженных конфликтов, которые являются «желаемыми» для американских ВС. Например, если в соответствии с «сетцентрическими» принципами скоротечность боевых действий будет повышаться, то более слабый противник постарается затянуть конфликт любым способом и избежать разгрома. При этом политическая воля руководства США будет ослабевать со временем, а военные расходы на обеспечение боевых действий – неумолимо расти.

Критические взгляды военных специалистов стран альянса [44, 155] относительно американской концепции «сетцентрических войн» сводятся к тому, что она характерна для ведения боевых действий крупного масштаба и не в полной мере обеспечивает потребности реагирования войск на асимметричные угрозы. Кроме того, по их мнению, определенная однородность, свойственная сетцентричности, может стать причиной уязвимости всей системы от одной единственной информационной атаки или возникновения технического отказа.

По оценкам ряда военных экспертов НАТО [44, 155], практическая реализация программ сетевидческой трансформации США через несколько лет может привести к перегрузке военных информационно-коммуникационных систем. Кроме того, в настоящее время не все европейские участники НАТО готовы финансировать в достаточных объемах реализацию концепции NCW или подобных ей концепций, направленных на дальнейшее сокращение длительности цикла боевого управления.

Необходимо отметить, что в британском военном ведомстве существует определённый скептицизм в отношении готовности американских технологий к решению всего спектра проблем, которые будут возникать при реализации концепции NCW [155]. Поэтому концепция «комплексных сетевых возможностей», хотя и разработана в рамках более общей концепции «сетевидческих войн», все же в большей степени отражает взгляды британского командования на роль и место сетевидческих технологий в общей структуре британских в частности и многонациональных сил НАТО на Европейском театре военных действий (ТВД) в целом. Она предполагает концентрацию усилий не на построении глобальной информационной сети, а на объединении «национально-центрических» систем в единое информационное поле и на максимальном приспособлении к «сетевидческой» структуре уже имеющихся боевых систем. Великобритания и некоторые другие страны обоснованно опасаются потерять самостоятельность в военной сфере из-за роста зависимости от американской коммуникационной архитектуры [155].

Проведенный анализ позволяет заключить, что нет необходимости в точном копировании концепций, разработанных под вооруженные силы конкретных государств с учетом их технических и финансовых возможностей. В то же время, с рядом выводов и рекомендаций зарубежных аналитиков нельзя не согласиться. К ним относятся сокращение длительности цикла управления, изменение структуры обмена информацией и унификация информационных протоколов, обработка информации в узлах информационной системы сетевой структуры, предназначенной для сетевидческого обеспечения боевых действий или мониторинга воздушного пространства.

1.3 Анализ известных принципов и способов построения единого информационного поля [81, 77, 142, 171, 172, 207]

В настоящее время имеется значительное количество отечественных и зарубежных работ, показывающих как теоретические, так и практические аспекты концепций управления и обработки информации. Основным критерием, положенным в основу исследования, является время нахождения информации в системе, поэтому анализ известных концепций, принципов и способов построения единого информационного поля проводится с этой точки зрения.

1.3.1 Информационная составляющая цикла управления на примере цикла Бойда

Известно значительное количество различных циклов управления: циклы Винера, Файоля, Красовского, Деминга-Шухарта и других [54, 195, 198, 199, 200, 201]. Они относятся к кибернетике, управлению производством, управлению качеством или имеют общетеоретический характер. По мнению автора, наиболее подходящим для анализа информационной составляющей цикла управления является цикл Бойда, нашедший признание и применение за рубежом и в военной, и в гражданских сферах.

С 80-90-х гг. XX века в стратегии развития вооруженных силах США приобретает широкое распространение теория Бойда, во многом определившая развитие военной мысли и практических действий по реорганизации военной доктрины США, Великобритании и Австралии [111, 114, 138, 143]. Наиболее широко положения этой теории представлены в работах С. Коппа (С. Корр) [59, 141] и монографии А.А. Ивлева [113, 138], материалы которых положены в основу проводимого анализа.

При формировании теории цикла OODA (Observation – наблюдение, Orientation – ориентация, Decision – решение, Action – действие), Бойд использовал в качестве философского обоснования три основные научные теоремы: теорему Гёделя о неполноте; принцип неопределенности Гейзенберга; второй закон термодина-

мики: так как энтропия (хаос) любой замкнутой системы всегда стремится к увеличению, то природа любой заданной замкнутой системы непрерывно изменяется, даже при принятии мер по сохранению ее в исходном состоянии.

Из этих источников, а также из теории эволюции Дарвина Бойд сделал выводы: чтобы соответствовать реальности, необходимо осуществлять действия непрерывно, с учетом постоянно изменяющихся условий окружающей среды, и что закон естественного отбора действителен и в биологической, и в социальной среде (например, выживание людей в бизнесе в условиях конкуренции, в войнах и т.п.).

Результатом объединения этих предположений явилась предложенная Бойдом гипотеза о том, что основным механизмом адаптации является цикл деятельности и принятия решения OODA. При этом более высокая точность оценки обстановки обеспечивает преимущество над противником или соперником в бизнесе, и более высокая скорость своего цикла действий приводит к победе.

Теория Бойда получила огромное признание за рубежом. Бойд публиковался в известных и авторитетных изданиях, таких, как *The New Times*, *The Washington Post*, *Forbes*, *The Economist* и других [113]. Теория цикла OODA изменила военные доктрины министерств обороны США, Великобритании и Австралии. Моделью предполагается многократное повторение петли действий, составленной из четырех последовательных взаимосвязанных процессов. В отечественных публикациях петле Бойда (Boyd Cycle) присвоено название петля (цикл) НОРД (Н – наблюдение, О – ориентация, Р – решение, Д – действие).

Официальные доктринальные документы МО США рассматривают петлю OODA как единую типовую модель цикла принятия решений для систем уровня C2 (командования и управления). Эксперты по теории Бойда пришли к выводу, что цикл OODA по своему составу, эффективности и возможностям находится посередине по сравнению с имеющимися моделями планирования и организации боевых действий [113].

Теория Бойда соответствует общей методологии научного метода: наблюдение – объяснение – предсказание. Междисциплинарный характер теории OODA

подтверждается сходством идеологии цикла Бойда и научного метода. Первоначально теория Бойда предназначалась для военного применения. Но потом она успешно применялась в моделировании деятельности и принятии решений в политике и бизнесе.

Теория полагает, что в любой деятельности, отдельного человека или организации, имеется своя петля принятия решений. Особенностью петли OODA является обязательное наличие противника или соперника в войне или в бизнесе. Теория предполагает, что противник или соперник действует в рамках своей петли. Если противоборствующей стороны нет, она может быть заменена динамически изменяющейся внешней средой (катастрофы, стихийные бедствия).

Чем быстрее осуществляются сбор, распределение, анализ, восприятие информации, тем больше времени на принятие решения или тем раньше начинается процесс принятия решения. Таким образом, введение сети является механизмом ускорения, увеличения темпа действий OODA-цикла для этапов наблюдения и ориентации, а также повышения эффективности – для этапа принятия решений.

Четвертый этап (Action – действие) OODA-цикла носит в целом «кинематический» характер и связан с перемещением в пространстве, защитой и поражением противника. На современном этапе наступил определенный технологический предел кинематической части OODA-цикла – более мощные виды оружия наносят неприемлемый сопутствующий ущерб, а более скоростные и более защищенные средства вооружения и средства доставки поражающего фактора к цели предполагают несоразмерные со стоимостью целей материальные затраты. Пока это имеет место в случае гиперзвуковых самолетов, ракет и оружия на новых физических принципах.

Учитывая возможность применения цикла OODA в качестве модели описания и анализа в любой сфере военной деятельности, в США цикл OODA называют «универсальным циклом военной деятельности». В частности, цикл OODA может быть применен при сетцентрическом обеспечении боевых действий. В [113] отмечается, что обоснованность и справедливость этих утверждений подкрепляется практикой ведения реальных боевых действий, а также положительными отзывами

представителей бизнеса (Toyota, Western Digital, Lockheed Martin) и науки (DARPA, RAND).

Теория Бойда получила дальнейшее развитие. Так, для цикла НОРД в 2003 году появился измененный вариант под названием петли КИСА (Критика-Исследование-Сравнение-Адаптация), затем была предложена петля ПФЗИАР (Поиск-Фиксация-Завершение-Исследование-Анализ-Рассеивание) – Find, Fix, Finish, Exploit, Analyze, and Disseminate (F3EAD), и ряд других [144]. В дальнейшем было произведено последовательное включение этих разработок в часть доктринальных документов армии США.

Рядом отечественных исследователей рассмотрены вопросы по противодействию теории Бойда и практическим выводам, вытекающим из неё [56, 113, 139, 140, 160], симметричный и асимметричный ответы, но с точки зрения информационных систем требования к повышению качества информации и скорости её доставки потребителям в них остаются неизменными.

Анализ теории Бойда показал, что информация играет решающую роль в трех из четырех элементах цикла OODA. Скорость доставки информации, её достоверность и полнота являются одними из решающих факторов для достижения превосходства над противником в вооруженной борьбе (над конкурентом в бизнесе, преодолением последствий стихийных катастроф). Следовательно, способы построения информационных систем, разработка методов и алгоритмов обработки и обмена информацией должны являться предметом самого тщательного изучения и перспективными направлениями их развития.

1.3.2 Этапы и особенности построения информационной структуры, основанной на сетевых принципах по данным зарубежных ученых и экспертов

С точки зрения задач исследования представляют интерес этапы построения сетевидной сети и их обоснование, и по понятным причинам наиболее проработанными эти вопросы оказались в военной сфере.

В соответствии с хронологией событий, становится очевидным, что более 30 лет назад в США началось последовательное развитие «сетцентризма» [159]. К началу 2000-х гг. концепция «сетцентрического обеспечения боевых действий» стала получать более конкретное развитие.

Так, в работе [57] создание сетцентрической сети предлагается провести в несколько этапов. На первом этапе анализируются информационные потоки в существующих распределенных системах управления. Далее, распределённые системы могут быть разбиты на набор аппаратно-реализованных каналов типа «точка-точка». Вместе с тем, такая архитектура не позволит применить инвариантный по отношению к потребителям интегрированный набор динамически изменяющихся данных.

На втором этапе целесообразно объединить в единую информационную сеть все системы на основе архитектуры «точка-точка», использующие для работы каналы в реальном масштабе времени. При этом в такую сеть должна переместиться из её узлов часть «интеллекта» и данные. Как только данные «отделяются» от конкретного узла и становятся общедоступными по сети, на новой основе можно создавать набор приложений для анализа данных, принятия решений и их реализации. Это обеспечивает выход на более высокий уровень видения ситуации и скорости принятия решений по ней, то есть, в конечном счете, на сокращение длительности цикла управления, что является одним из основных преимуществ сетцентрического построения информационного поля [28].

На третьем этапе необходимо учесть специфику функционирования сетцентрической сети в кризисной ситуации для корректной работы приложений, обрабатывающих информацию. В процессе использования коммуникаций на основе архитектуры «точка-точка» при исчезновении источника данных или нарушении работы канала их передачи, потребитель теряет информацию, поступающую по этому каналу, хотя возможно, что где-то в другой точке сети эти данные существуют и могут быть найдены. При наличии нескольких источников, собирающих одни и те же данные, и нескольких каналов переноса их в сеть, этими сведениями можно пользоваться до тех пор, пока существует хотя бы один источник и хотя бы один

канал. Тем самым достигается высокая степень отказоустойчивости: сеть, ориентированная на данные, как таковые, абстрагированные от единственного источника поступления, единственного канала передачи к потребителю, сохраняет свою работоспособность даже при исчезновении одной из подсистем сбора данных [57].

На четвертом этапе разрабатываются требования к размещению данных в сети. Эти требования зависят от принципов построения информационно-ориентированных сетевых систем и определяются правилами функционирования сети. В этом случае информация доступна любому приложению или системе, которые сформировали запрос на их получение. В такой сетевой среде пользователь данных может не знать источник их поступления. Единственное, о чём ему надо знать, это то, что данные достоверны, и их можно использовать [57]. Достоверность данных обеспечивается их передачей по защищенной сети и разграничением доступа к информации.

Возможность применения такой ориентированной на интеграцию данных архитектуры сети для развёртывания «сетевцентрической» системы доказана опытом, и эта архитектура известна как модель «публикации» и «подписки» на данные или OMG Data Distribution Service (OMG DDS) [15, 28, 57, 40]. Она строится на основе «дейтацентрической» модели, которая базируется на открытых стандартах (open-standards data-centric model). Под «дейтацентрической» моделью в [57] понимается функционально однородный объект или объекты, предназначенные для функционирования в сетевцентрической структуре. Формирование таких моделей осуществляется на основе существующих систем управления и вооружения. Эти объекты не являются сетевцентрическими, а усовершенствуются для работы в ней, что достигается применением ряда программных и аппаратных средств.

Проприетарные продукты, отвечающие требованиям стандартов OMG DDS, используются при выполнении большого числа проектов. Решения, реализуемые в рамках этих проектов, обеспечивают в масштабных сетях требуемые временные задержки и гибкость реакции на изменяющиеся условия, при согласовании, анализе данных и принятии решений на их основе.

Ключевым инструментом для обеспечения гибкости таких систем выступает широкий набор DDS-характеристик, выбор которых позволяет на прикладном уровне соблюдать требования к качеству обслуживания (Quality of Service / QoS). Каждый источник и потребитель данных из глобального пространства сети определяет свои требования к услугам по получению данных, используя систему «брокера» качества услуг, а архитектура DDS после этого отслеживает соответствие обеспечиваемых коммуникационных характеристик заказанным и при необходимости подключает альтернативный источник данных, работа которого поддерживает требуемое качество обслуживания. Технология DDS QoS берёт на себя все функции по обеспечению отказоустойчивости, управляемого доступа к данным, соответствия протоколов и всего остального, что в архитектуре «точка-точка» делали системы связи и передачи данных источника и потребителя данных.

Для правильной организации информационного процесса необходимы ещё два компонента [57]: комплект стандартов, являющийся основой общего проекта, и «всеобъемлющая распределённая архитектура, в которой находятся приложения». Без создания общей сетевой инфраструктуры на основе полностью связанной топологии существующие системы не способны взаимодействовать с полной эффективностью.

Военно-морские и военно-воздушные силы США для построения общей сетевой инфраструктуры используют платформу NESI⁴. Принципы, на которых построена платформа, представляют собой базовую методологию для создания «сетевоецентрического» решения в соответствии с техническим заданием министерства обороны США на проект Network-Centric Warfare [13, 57]. Платформа NESI – это фактически база знаний для реализации архитектурных и инженерных решений. В такой инфраструктуре приложения и их компоненты приложений имеют доступ к любым данным в сети вследствие того, что они находятся в узлах информационной структуры.

⁴Net- Centric Enterprise Solutions for Interoperability или «сетевоецентрическое» решение для согласованной работы корпоративных приложений

Требуемая инфраструктура может использовать протокол Internet Protocol Version 6 (IPv6), как и рекомендует DCIO OSD Networks and Information Integration [157]. Этот протокол обеспечивает безопасное совместное использование сетевых ресурсов из авторизованных источников несколькими потребителями, так как технология на его основе гарантирует уровень доступности и защищенность коммуникаций.

Между тем, создание подобной инфраструктуры имеет серьезные проблемы. Это связано с тем, что, как правило, уже развернуто значительное количество систем управления и систем вооружений, изначально не ориентированных на работу в «сетевцентрической» среде.

Один из проектов, призванных решить часть проблем, называется Common Link Integration Processing (CLIP) program (программа по интеграции в системы вооружений универсального коммуникационного канала). Платформа CLIP работает в гетерогенных компьютерных и коммуникационных средах, вводит «дейтацентризм» в структуру всей сети, что позволяет использовать программное обеспечение связующего слоя и прикладные программы, в сочетании со стандартами DDS позволяет передавать сообщения от созданных ранее платформ вооружения в глобальное пространство распределённых сервисов, что делает их доступными для всех систем в сети [57].

В [57] отмечается, что всеобъемлющее воплощение концепции «сетевцентрических» боевых действий в реальности займет годы, а преимущества будут осознаваться постепенно по мере развертывания всё новых компонентов сети. Программное обеспечение «дейтацентрических» приложений может создаваться уже в настоящее время. Это позволит органам управления осуществлять переход к управлению и контролю на новой технологической основе.

1.3.3 Особенности концепций и перспектив создания информационной системы сетевой структуры в Российской Федерации

В Российской Федерации имеются определенные наработки по всем указан-

ным выше направлениям развития сетецентрической структуры военного и гражданского назначения, несмотря на определенные трудности с однородностью терминологии,

В отечественной науке существует множество мнений относительно концепции «сетецентрической войны», начиная от определения самого термина, позиций по теоретическим вопросам построения ВС Российской Федерации, и заканчивая практическими аспектами её реализации [16, 17, 18, 19, 37, 42, 43]. Очевидно, что построение единого информационного поля без единой глобальной концепции невозможно [18, 37, 44]. Наиболее распространенными терминами, определяющими концепцию NCW применительно к российской военной науке, являются «ведение боевых действий в едином информационном пространстве», а также «управление ведением боевых действий на основе единого информационно-коммуникационного пространства» [32].

В нашей стране проводятся исследования свойств сетецентрической системы в целом [35, 60, 155], разрабатываются методики расчета характеристик её структуры [34, 62] в качестве основы сетецентрической системы управления. Необходимо отметить, что в понимании некоторых отечественных специалистов «сетевой» принцип построения системы обмена информацией не означает «сетецентрический», а допускает различные мнения, в частности, обмен информацией в едином информационном поле, построенном по иерархической структуре [36, 137].

Обращаясь более конкретно к теме обработки радиолокационной и впоследствии локационной информации (в широком смысле), необходимо отметить, что исторически сложившаяся модель АСУ на основе алгоритмов третичной обработки появилась в 60–70-х гг. прошлого века, и в целом эта модель соответствовала задачам и техническим возможностям того времени. Вместе с тем, уже в то время имелись предложения и анализ [49], в частности, третичной обработки как частного случая нескольких способов обработки РЛИ в больших радиолокационных системах. Третичная обработка представляется в [49] как «группа схем ветвящихся решений». В [49] отмечается, что эта группа схем обработки дает удовлетворительные, а в некоторых случаях хорошие результаты, если расстояние между целями

намного превышает ошибки измерений, экстраполированные на интервал времени между двумя измерениями. Если поток целей плотный, то может оказаться, что ветвящиеся алгоритмы либо не обеспечивают сходимости, либо окажутся неэффективными.

В [49] также отмечается, что указанная группа схем обработки обеспечивает наибольшую экономию средств обработки и поэтому находит широкое применение. Вместе с тем, в этих схемах снижаются все показатели качества по сравнению с потенциальными возможностями системы, и степень этого снижения зависит от распределения целей и от модели ошибок. В наибольшей степени недостатки схем этой группы скажутся на полноте отображения в случае плотного потока целей. Это особенно плохо для систем, которые должны точно определять число целей. Поэтому такие алгоритмы ограниченно применимы для радиолокационных систем, которые должны иметь очень высокую пропускную способность. Современная система связи, как составная часть радиолокационной системы, уже имеет очень высокую пропускную способность, но это слабо влияет на повышение общей эффективности. Причина скрывается в применении способа третичной обработки в прежних структурах. Именно сочетание способа обработки, «привязанного» к структуре, в которой он применяется, не дает возможности перейти на новый этап развития [72].

Технические средства, реализующие те или иные схемы обработки, определяются видом информационного сигнала. Как известно, основными видами сигналов являются: радиосигнал (на несущей или промежуточной частоте), видеосигнал, кодовый сигнал, аналоговый (электрический, оптический, акустический) сигнал. Средства сопряжения высокочастотных и видеочастотных аналоговых устройств обработки данных обычно более информативны, нежели вычислительные средства. Применяя способы обработки, отличающиеся от третичной, появляется возможность объединения разнородной локационной информации, с разными вероятностями обнаружения объектов, с разным временем наблюдения и т.п.

Предпосылки в виде разработок отдельных фрагментов большой информационной системы в России имеются [18, 42, 64, 103, 152]. Отмечается, что важным

фактором является одновременное функционирование и взаимодействие перспективной информационной системы сетевой структуры одновременно с существующей.

Так, в работе [18] анализируются модели организации информационного обмена в сетевидной среде, из которых представляет интерес модель с использованием мультиагентного диспетчера, основанная на работе с логическими точками подключения сервисных программ и клиентов, уменьшающая сложности, связанные с содержанием баз данных. Задачи преобразования гетерогенных вычислительных и информационных сред решаются в гражданской области. Имеется успешный опыт создания коммерческого ПО «промежуточного» или «связующего слоя» [64, 65, 103], который выполняет функции обеспечения взаимодействия гетерогенных информационных сред и систем, и может быть применен в сетевых приложениях. Всё большее количество модернизируемых и вновь создаваемых образцов техники ориентированы на сетевую модель обмена информацией [18, 42, 66]. Необходимо всё же отметить, что эти образцы имеют собственные, уникальные протоколы обмена информацией. Отсутствие ПО связующего слоя не позволяет считаться им полноценными «дейтацентрическими» объектами для интеграции в сеть.

Объединенная автоматизированная цифровая система связи ОАЦСС как основа построения современной отечественной перспективной информационной системы

В Российской Федерации имеется современная информационная структура с новейшими телекоммуникационными возможностями, которая может быть ориентирована на информационное обеспечение боевых действий в соответствии с сетевидной концепцией. Это объединенная автоматизированная цифровая система связи (ОАЦСС) ВС РФ [67, 68, 69]. Структура ОАЦСС включает современные высокоскоростные линии связи и передачи данных, цифровые узлы связи, которые позволяют не только обеспечивать обмен информацией, но и осуществлять

её обработку по принципам, реализованным в интернете. То есть имеется возможность придать системе управления новое качество – сетецентричность. Необходимость направленности дальнейшего развития подобной разработки и основные этапы её создания детально описаны в работах [18, 28, 42, 44].

В разработке нормативно-правовой, технической, технологической и организационной базы ОАЦСС выполнен большой объем работы. Ответом на вопросы, в какой мере ОАЦСС является материальной основой сетецентрического информационного поля, какие основные особенности она имеет в настоящее время, какова её структура, каковы перспективы развития системы в целом, является анализ публикаций по данной тематике [29, 30, 43, 68, 67, 70, 77].

Объединенная автоматизированная цифровая система связи ВС РФ определяется [67, 68, 69] как совокупность автоматизированных цифровых сетей связи общего пользования видов и родов войск Вооруженных Сил Российской Федерации на основе унифицированных системотехнических решений, включая решения по обеспечению синхронизации, сигнализации, управлению абонентской и технологической нумерацией, адресацией и именованию, безопасностью информационного обмена между информационно-аналитическими центрами обеспечения обороноспособности страны.

Базовым принципом построения ОАЦСС является отделение функций переноса и коммутации трафика от функций управления вызовом и услугами. Этот принцип используют для формирования унифицированной для всех видов трафика транспортной среды и сопрягаемых трактов управления вызовом и услугами.

В ОАЦСС предусмотрена реализация единого подхода к терминальному оборудованию абонентов, к сетям доступа абонентов, к транспортной сети, а также к платформам коммутации как универсальным программно-аппаратным комплексам, в которых функциональные элементы маршрутизации и коммутации физически и логически отделены от устройств управления вызовами и доступом к услугам. Платформы коммутации обеспечивают использование технологий коммутации каналов и коммутации пакетов и интеграцию (объединение) услуг различных сетей в единые комплексы услуг [67, 68, 69].

Для предоставления пользователям ОАЦСС телекоммуникационных и информационных услуг на основе комплексного и согласованного использования телекоммуникационных и информационных ресурсов ОАЦСС используются цифровые узлы связи (ЦУС). Узлы связи ОАЦСС должны обеспечивать предоставление услуг заданного качества пользователям ОАЦСС по их запросам, поддерживать комплексное и согласованное применение ресурсов ОАЦСС (сетей связи, служб, средств и ресурсов хранения и обработки информации), а также ресурсов программного обеспечения для поддержки приложений пользователей, создания новых услуг и приложений. Поэтому программное обеспечение узлов связи ОАЦСС может содержать «ПО связующего слоя» и универсальные приложения, обеспечивающие доступ различных «дейтацентрических» потребителей, источников и абонентов к информации единого информационного поля.

Таким образом, в работах по созданию и развитию ОАЦСС [67, 68, 69] приводятся все основные требования и все необходимые элементы, присущие информационной сетевой структуре как основе сетецентрической системы. Для дальнейшего развития сетецентрической системы необходим целый ряд решений по межвидовым и межсистемным вопросам по: платформам коммутации, программному обеспечению связующего слоя, единым стандартам и протоколам обмена и доставки информации, приложениям по запросу и обработке данных и т.п. Это огромный объем работы на длительный срок, который должен выполняться по единому плану информационного реформирования, в том числе, органов управления воздушным движением военного и гражданского назначения.

1.4 Основные термины и определения. Интегральный показатель информационных потерь и целевая функция эффективности системы [72]

1.4.1 Основные термины и определения

Ключевая роль в диссертационном исследовании отводится понятию «система». В качестве определения этого понятия приведем наиболее полное и корректное определение Л. А. Петрушенко [173]: «Система – это совокупность эле-

ментов или отношений, закономерно связанных друг с другом в единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у элементов или отношений, его образующих. Основные признаки системы – наличие структуры, уровня организации, подсистем, входа и выхода, а также закономерной связи между системой и образующими ее подсистемами».

Структура (от латинского *structura* – порядок) – совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, или сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях [147].

Единой точки зрения на соотношение и связанность понятий структура, система, функция, организация системы, в современной науке не существует. Наиболее приемлемым в большинстве случаев и наиболее широким из данных понятий обычно принимают понятие системы. Система включает всё множество проявлений сложного объекта, такие, как строение, функции, элементы, связи между элементами. Организация системы включает в себя как строение, так и динамические характеристики системы, направленные на обеспечение ее функционирования. Структура же определяет устойчивость и относительную неизменность строения системы при её внутренних и внешних преобразованиях [147]. Отметим здесь, что структура и организация системы являются не взаимоисключающими, а взаимодополняющими понятиями, функции которых могут пересекаться. Поэтому в большей степени в дальнейшем рассматривается приведенное понятие структуры, которое, по мере необходимости, будет дополняться функциями организации.

Рассмотрим два основных вида структур – иерархическую и сетевую.

«Иерархическая структура – множество, частично упорядоченное так, что существует ровно один элемент этого множества, не имеющий предшествующего, а все остальные элементы имеют ровно один предшествующий» [106].

Интуитивно может быть дано еще одно определение иерархической структуры, которым в основном пользуются при определении построения системы: многоуровневая форма организации объектов со строгой соотнесённостью объектов нижнего уровня определенному объекту верхнего уровня. «У подчиненного может

быть только один руководитель». Графически она может быть представлена в виде дерева. Отметим, что каждому уровню определен строго субординированный объем управленческих решений. Кроме того, возможности каждого уровня тоже строго ограничены. Вместе с тем, от работоспособности более низких уровней зависит функционирование более высоких.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений исследования является поиск структур, обеспечивающих сокращение времени нахождения информации в системе. Накопленный опыт исследования иерархических структур показывает, что многоуровневая форма организации объектов со строгой соотносительностью объектов нижнего уровня определенному объекту верхнего уровня не обеспечивает в полной мере соответствие возросшим требованиям по сокращению времени нахождения информации в системе. Это положение включает в себе противоречие, которое, являясь диалектическим, имеет следствием несоответствие – возрастание технических возможностей современных цифровых сетей передачи данных, вычислительных мощностей компьютеров в узлах информационной системы иерархической структуры не приводит к ожидаемому сокращению времени прохождения информации в системе. Эта особенность иерархической структуры сыграет существенную роль в дальнейшем рассмотрении функций информационной системы.

Сетевая структура – сеть, множество, частично упорядоченное так, что, по крайней мере, для некоторых элементов множества существует более одного предшествующего [106]. Основной тематикой этого понятия является организация данных в системе обработки данных. Иногда заменяется синонимом «сеть». В нашем случае применение синонима может быть использовано только с оговорками и дополнениями, какому уровню принадлежит сеть – логическому уровню радиолокационной системы, системы связи и передачи данных; либо это физический уровень организации обмена данными – локальная сеть, сеть компьютеров.

Важную роль играет понятие топологии. «Топология – (др.-греч. τόπος – место и λόγος – слово, учение) – раздел математики, который изучает: в общем виде – явление непрерывности; а в частности – свойства пространств, которые остаются

неизменными при непрерывных деформациях (связность, ориентируемость)» [107]. Топология не оперирует метрическими свойствами (такими, как расстояние), а топологическое пространство является обобщением метрического пространства. При последующих рассуждениях будет учитываться свойство непрерывности, как важнейшее свойство топологии, при построении и взаимодействии структур различного вида.

При рассмотрении топологии той или иной структуры, при изображении схемы или графа иногда опускается понимание сущности топологии: какому множеству или уровню соответствует эта схема (граф) – логическому (потокам прохождения информации) или физическому (построению структуры и соединению её элементов физическими связями).

Для изучения вопроса о структурах понятие топологии позволяет разделить каждую систему и характеризующую её структуру на две части:

- интуитивно понятную и являющуюся основой построения системы, как правило, имеющую логическую основу, например граф прохождения информации в иерархической структуре;
- неявно выраженную физическую основу, организацию системы обмена информацией или системы связи и передачи данных.

Для пояснения этого разделения с целью обоснования подхода к построению системы новой конфигурации и применения новых способов обработки информации в качестве аналогии возьмем известную семиуровневую модель OSI или четырехуровневую модель DOD [83, 115, 197]. В этих моделях однозначно определяется физический и связанный с ним канальный уровень – это уровень типа среды (медный кабель, оптоволокно, радиоэфир и др.), типа модуляции сигнала и сигнальных уровней логических дискретных состояний (нули и единицы). Добавим, что в рассматриваемой нами системе важную роль играет структура построения физических связей, которая, как мы отметили, может быть иерархической, сетевой или комбинированной.

Логические уровни в модели OSI начинаются с третьего, сетевого уровня, который отвечает за маршрутизацию и адресацию информации в сети. Этот уровень, с одной стороны, «снизу» оперирует данными физического уровня, а после обработки этих и других (сетевых) данных отвечает за логическое представление адресов и маршрутизацию в сети (выдает данные на верхний, транспортный уровень). Опять же, как и в случае с физическим уровнем, нас интересует не просто логическая маршрутизация, а обмен информацией в соответствии с уже логической, формальной структурой рассматриваемой системы.

Исходя из вышесказанного, физическая и логическая структура в перспективной информационной системе могут быть различными, в силу свойства топологии должны обладать непрерывностью и в совокупности образовывать физический и логический уровни системы.

Таким образом, физический уровень перспективной информационной системы – это совокупность терминального оборудования и серверов, объединенных определенной структурой и соединенных посредством физической среды (медный кабель, оптоволокно, радиоэфир и т.п.), использующих различные методы модуляции для преобразования сигналов в двоичный код.

Логический уровень перспективной информационной системы – это совокупность узлов передачи и обработки информации, источников и потребителей информации, принадлежащих определенной структуре, с указанием направления потоков обмена информации с логической точки зрения (от источников к потребителям), без учета физической взаимосвязи.

Информация передается в системе связи и передачи данных (ССПД), которая является подсистемой, составной частью радиолокационной системы. Система связи и передачи данных сама развивается как система, структура, и сама, в свою очередь, имеет логическую и физическую основы. Топологией радиолокационной информационной системы, её логической (информационной) и физической (ССПД), составляющих является иерархическая структура. В то же время современная автоматизированная система связи и передачи данных имеет в физической и логической основе своего построения сеть. Для решения существующих задач в

этой цифровой сети образуются логические связи в соответствии с логической иерархической структурой прохождения информации. Реализуются эти связи прямыми каналами прохождения информации, каналами типа «точка-точка». Они образуются в сети связи технически, организационно и программно с использованием свойств сети.

Вместе с тем, создатели АСУ придерживаются мнения, что в основе построения существующих информационных систем (и АСУ) лежит сеть как структура. Но эта структура принадлежит системе связи и передачи данных, у существующей информационной системы такой структуры нет. Именно исторически сложившееся смешение определений разных структур, входящих друг в друга, и принятие свойств одной структуры за свойства другой является одной из основных причин непонимания вопросов выбора направлений исследования свойств радиолокационной информационной системы сетевой структуры и её дальнейшего развития.

Можно сделать вывод: логическая и физическая составляющая современной радиолокационной информационной системы является иерархической. Логическая составляющая современной цифровой ССПД является, по требованию разработчиков АСУ, иерархической, а её физическая часть, по независящим от них причинам – сетевой (у ССПД имеются свои разработчики и принципы построения). Но, к сожалению, по-прежнему в ходу утверждение, что радиолокационная система управляется в соответствии с принципом иерархии, и одновременно является сетевой. Несоответствие ожиданиям по сокращению времени доставки информации потребителям в течение десятилетий объясняется недостаточной мощностью компьютеров и малой пропускной способностью каналов передачи данных.

Можно привести ещё один пример. Основными преимуществами сетецентрической системы управления и целью её применения являются сокращение цикла управления и обеспечение ситуационной осведомленности войск (сил), привлекаемых к операциям (боевым действиям) [37]. В свою очередь, сокращение длительности цикла боевого управления в современных условиях, в условиях применения системы управления иерархической структуры и копирующей её иерархической структуры обмена и обработки информации очень сильно зависит от времени

нахождения информации в системе [49]. Если не считать времени приема и обработки информации сенсорами и датчиками, то время нахождения информации в системе состоит из времени обработки информации при вводе в систему, времени обработки в узлах системы (включая время на принятие решения), и времени передачи потребителю обработанной информации по каналам связи. Время передачи (доставки) информации по каналам связи в современных цифровых системах связи известно, оно измеримо и существенно меньше двух других, указанных выше, поэтому в дальнейших рассуждениях до определенного момента величина этого параметра в расчет приниматься не будет. Следовательно, существенное сокращение длительности цикла управления может быть произведено путем минимизации времени ввода и времени обработки информации. Этот параметр информационной системы определяется ее структурой, организацией обработки информации в системе и способами обработки.

Можно утверждать, что наиболее существенным резервом сокращения цикла управления за счет уменьшения времени нахождения информации в системе является применение наиболее эффективной именно с точки зрения обработки и обмена информацией структуры построения. В настоящее время наиболее эффективной в этом отношении является сетевая структура обмена и обработки информации. Но проблема заключается в том, что на физическом уровне вычислительных средств и каналов связи современная структура обмена информацией действительно представляет собой сеть, а на логическом, более высоком уровне построения, система по-прежнему остается иерархической и не может обладать более эффективными свойствами сетевой структуры в плане обработки и обмена информацией [72, 77, 78].

Существующая иерархическая структура радиолокационной системы, основанная на логическом понимании управления и подчиненности, формирует логический уровень обмена и обработки информации. Этот логический уровень по структуре полностью совпадает с логическим уровнем подчиненности, и построение его не вызывало никаких сомнений. Проблема сокращения цикла управления

за счет уменьшения времени нахождения информации в такой системе естественным образом связывалась только с усовершенствованием алгоритмов третичной обработки, берущих свое начало от 60-х гг. прошлого века и имеющих в своей основе разработанные в то время принципы построения информационных иерархических систем [72]. В настоящее время отличие состоит только в применении более мощных вычислительных средств, высокоскоростных цифровых каналов и сетей связи.

Вместе с тем, имеется значительный резерв для повышения эффективности современных информационных систем. Для его использования необходимо разделение логического уровня управления (подчиненности) и логического уровня обработки и обмена информации. Или, другими словами, разделение функций управления и функций обработки информации. Подобная трансформация безусловно потребует изменения в логических и физических уровнях новой общей системы, а также пересмотра имеющихся способов обработки информации на предмет применимости в новой, общей структуре, включающей два новых отдельных уровня.

По сравнению с иерархической сетевая структура имеет наименьшее время доставки. В то же время, структура прохождения информации в существующей радиолокационной информационной системе является иерархической и полностью копирует структуру управления (подчиненности). Имеется мнение, что если подсистема связи и передачи данных построена на цифровых сетях (на физическом уровне), то и структура прохождения информации также является сетевой. Но она является иерархической. Чтобы это представить, достаточно построить графы прохождения информации управления и собственно радиолокационной информации по системе.

Логически верным будет построение подсистемы обмена и обработки информации в системе с действительно сетевой структурой, безусловно, связанной с верхним иерархическим уровнем управления и подчиненности. На более низком логическом уровне эта подсистема будет иметь в своей основе цифровые сети связи, по которым происходит физический обмен информацией по сети.

Доминирующим фактором, на основе которого может обеспечиваться сокращение длительности цикла управления, является сама информация и её свойства. Наиболее эффективной формой обмена информацией в плане времени нахождения информации в системе является сеть, сетевая структура. Если логически разделить существующую радиолокационную информационную систему на два уровня – уровень управления и уровень обработки и обмена информацией, и применить в нижнем логическом уровне обмена и обработки информации сетевую структуру, то появляется возможность резкого уменьшения времени нахождения информации. Фактически обмен и обработка становятся одноэтапными, основные временные затраты будут приходиться на ввод-вывод информации, на передачу информации сети и на принятие решения на том уровне управления, который имеет на это право. Все потребители сетевой подсистемы обработки и обмена информацией одновременно получают возможность ситуационной осведомленности – возможность получения информации синхронно с органами управления, принимающими решения.

Одновременно это будет являться реализацией основного принципа сетецентрических войн – самосинхронизация боевых действий войск (сил) с целью сокращения цикла боевого управления.

Структурные свойства являются достаточно общими, поэтому результаты их анализа могут быть использованы как при разработке структуры всей системы, так и ее подсистем.

Структуру можно характеризовать [49]: топологическими свойствами; временем прохождения информации по сети связи; надежностью при нарушении целостности структуры.

Учитывая пространственную ориентированность радиолокационной системы, то есть известное взаимное расположение радиолокационных станций и пунктов обработки, а также ограничения, накладываемые на расположение и на возможные направления связи, особо важными представляются топологические свойства структуры. При исследовании структуры системы не учитываются внутренние свойства каждого отдельного элемента. Представляют интерес только его внешние характеристики, которые проявляются в соотношении между входной и

выходной информацией этого элемента.

Топологический анализ возможных структур радиолокационных информационных систем приводит к выводу о наличии сравнительно небольшого числа типовых структур, комбинации которых могут отобразить все разнообразие конфигураций внутренних связей в этих системах [49]. Исследование, собственно, сосредоточено на двух типах.

В существующей третичной обработке РЛИ имеется важный этап – «отождествление» [125] – это установление по определенным критериям степени соответствия данных о воздушных объектах, полученных от разных источников. У этого термина имеются два синонима – «идентификация» и «объединение».

Отождествление – установление тождества, то есть полного равенства при любых обстоятельствах каких-либо объектов, явлений или идей [110, 196]. Понятие отождествление появилось, прежде всего, в психологии и философии в значении полного или частичного подражания одного субъекта другому. В английском языке «отождествление» имеет понятие «identification», которое на русский может быть переведено отдельным термином «идентификация».

Идентификация (от лат. *identifico* – отождествлять) – установление тождественности неизвестного объекта известному на основании совпадения признаков; опознание [196].

В информатике имеется похожий термин «объединение» (англ. *union*), который представляет собой значение или структуру данных, и может иметь несколько различных представлений [196].

Объединение – действие по значению глагола объединять:

- получение из нескольких объектов одного целого;
- структура, состоящая из нескольких элементов;
- одна из бинарных операций над множествами, результатом которой является множество, содержащее в себе все элементы исходных множеств [130].

И в теории, и в практике обработки локационной информации мы имеем дело не с привязкой сообщения о воздушном объекте (точнее, отображения) к реальному

объекту, а с привязкой одного отображения объекта к другому отображению с определенной вероятностью и по определенным правилам [46, 47]. Таким образом, действию, производимому с радиолокационной информацией в процессе обработки, более соответствует термин «идентификация» (в широком смысле) или «объединение» (в более узком, математическом смысле), чем «отождествление». Поэтому с формально-логической точки зрения будет правильным говорить об объединении отображений и получении из нескольких отображений одного целого.

Соответственно, для обработки локационной информации в информационной системе сетевой структуры будет применяться только термин «объединение информации», под которым понимается «процесс объединения сообщений (отображений) о воздушных объектах» [46, 47] на основе критериев, которые будут приведены ниже. Подобное понимание термина «объединение информации» встречается, например, в работе [149]. Если в дальнейшем речь будет идти именно о классической третичной обработке, то термин «отождествление» останется в прежнем значении.

Чтобы отличать классическую третичную обработку РЛИ при объединении от обработки информации, которая будет осуществляться в сетевых структурах, сформулировано определение «обработки радиолокационной информации в информационной системе сетевой структуры». Под обработкой РЛИ в информационной системе сетевой структуры (для краткости «сетевой обработкой») понимается объединение радиолокационной информации от одного источника, или нескольких источников между собой, с радиолокационной информацией, циркулирующей в сетевой структуре.

Под временем нахождения информации в информационной системе понимается время от момента поступления информации на вход информационной системы от источника до момента выхода информации из информационной системы непосредственно к потребителю. В отдельных случаях применения низкоскоростных каналов с большими задержками во время нахождения будет включаться задержка информации в источнике перед передачей её в систему.

Отдельно необходимо отметить, что наличие информационных систем

иерархической структуры не отрицается как устаревшее и не пригодное к применению. Всегда останутся системы управления, разведки и вооружения, в которых, по определенным обстоятельствам, предпочтительнее иметь прямые каналы доставки информации от источника потребителю.

1.4.2 Интегральный показатель информационных потерь и целевая функция эффективности информационной системы

Для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы – способности адекватного отображения воздушной обстановки целесообразно ввести интегральный показатель, характеризующий объединенные на основе совокупности нескольких обобщенных свойств системы и связанный монотонной зависимостью с качеством надсистемы. В [46] приведены математические выражения для интегрального показателя информационных потерь, которые будут использованы для дальнейших рассуждений.

При этом наиболее общим системным свойством радиолокационной информационной системы является способность отображения, а обобщенной или интегральной его характеристикой – адекватность (качество) отображения. Качество отображения предлагается оценивать на основе определения потерь адекватности отображения и количественно определять их информационными потерями [46].

К подмножеству потерь α отнесем подмножество, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую, т. е. приводящую к увеличению времени обработки информации, к созданию предпосылок для информационной перегрузки системы, увеличению времени принятия решений. По величине потерь можно судить о качестве отображения, эффективности функционирования собственно радиолокационной системы, а также о вкладе в эффективность надсистемы [43, 119, 120, 127].

В общем виде функция эффективности от такого показателя формируется следующим образом [43, 119, 120]:

$$f(\alpha) = f \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L w_l \frac{\text{card}\alpha}{\text{card}X} \right\}, \quad (1.1)$$

где w_l , – значения весового коэффициента, характеризующего важность информации того или иного вида, L – общее количество видов информации, N – количество независимых показателей, входящих в интегральный показатель, α – подмножество потерь, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую, X – множество, описывающее воздушную обстановку.

Тогда эффективность функционирования радиолокационной информационной системы \mathcal{E}_s , или качество отображения можно определить как

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha). \quad (1.2)$$

Для сложной, многоуровневой информационной системы значение интегрального показателя, характеризующего информационные потери, можно получить на основе агрегирования (например, аддитивной весовой свертки) значений обобщенных и частных показателей.

В соответствии с [46] обобщенный показатель качества и эффективности функционирования радиолокационной системы K^κ определяется как

$$K^\kappa = \frac{\sum_{n=1}^{N_{1R}} K_n^{\Pi}}{N_{1R} + N^{\text{проп}}} (1 - K^{\text{лж}}), \quad (1.3)$$

где $N^{\text{проп}}$ – количество пропущенных системой реальных воздушных объектов, N_{1R} – количество объектов, сопровождавшихся с требуемой точностью, $K^{\text{лж}}$ – коэффициент существования ложных трасс. К пропущенным относятся и объекты, проведенные с точностью ниже требуемой;

$$K_n^{\Pi} = \frac{1}{1 + \frac{T_n^{\text{разр}}}{T_n^{\text{сопр}}}} - \text{коэффициент проводки } n\text{-го воздушного объекта};$$

$\overline{T_n^{\text{сопр}}}$ – длительность непрерывного сопровождения n -ой трассы;

$\overline{T_n^{\text{разр}}}$ – длительность разрыва n -й трассы;

K^{lm} – коэффициент существования ложных трасс по времени. Характеризует достоверность информации, добываемой системой. Определяется как отношение длительности ложных трасс \bar{T}_{Σ}^{lm} к сумме длительности ложных трасс и длительностей участков непрерывного сопровождения реальных трасс $\bar{T}_{\Sigma}^{сопр}$

$$K^{lm} = \frac{\bar{T}_{\Sigma}^{lm}}{\bar{T}_{\Sigma}^{lm} + \bar{T}_{\Sigma}^{сопр}}, \quad (1.4)$$

где \bar{T}_{Σ}^{lm} – средняя длительность существования ложных трасс. Определяется как отношение общего времени существования ложных трасс к их количеству.

$$\bar{T}_{\Sigma}^{lm} = \frac{\sum_{g=1}^G \Delta t_g^{lm}}{N_{1RL}}, \quad (1.5)$$

где Δt_g^{lm} – длительность g -й ложной трассы, N_{1RL} – количество ложных трасс.

Тогда информационные потери, или интегральный показатель можно определить как

$$\alpha = 1 - K^k. \quad (1.6)$$

Таким образом, совокупность показателей оценки качества отображения X_R , то есть его адекватность воздушной обстановке X в пределах пространственных размеров зоны наблюдения связана монотонной зависимостью с эффективностью надсистемы и по своей природе имеет системный характер. В качестве основного интегрального показателя, характеризующего качество или адекватность отображения, целесообразно использовать показатель α потерь информации в системе. Удобство использования подобного показателя состоит в том, что он может быть выражен физической величиной и может быть измерен или рассчитан на любых этапах разработки и эксплуатации системы. Он в определенной степени чувствителен к свойствам радиолокационной системы, обусловленным особенностями ее построения и реализованными алгоритмами обработки, состоянием ее элементов, и позволяет проводить сравнительную оценку различных методов обработки. С другой стороны, он одновременно обладает и свойствами функционального показателя

(то есть позволяет учесть вклад радиолокационной системы в надсистему). Критерий минимума информационных потерь, сформированный на основе этого показателя, в [46] используется для разработки рациональных методов агрегирования.

Вместе с тем, в приведенных выражениях (1.1, 1.2 и 1.6) нет количественного выражения временного параметра, а именно – времени нахождения информации в системе $T_{сис\tau}$.

Если рассматривать интегральный показатель α с точки зрения времени нахождения информации в системе, то коэффициент проводки K_n^{Π} , длительность сопровождения $\bar{T}_{\Sigma}^{сопр}$, длительность разрыва n -й трассы $\bar{T}_n^{разр}$ косвенно отражают время задержки и время нахождения информации в системе, но прямого количественного выражения, характеризующего этот параметр, в [46] нет. Но в [47] отмечается, что природа всех существенно влияющих на точность определения координат компонентов ошибок – временная. В основном это относится к ошибкам, возникающим в результате задержек информации при сборе и обработке. При этом на величину временных задержек будет оказывать влияние разная величина ошибок для разных элементов множества, потому что их координаты могут определяться различными измерителями и данные о них могут проходить через различные тракты системы сбора и обработки данных.

Поэтому дополним обобщенный показатель качества и эффективности радиолокационной системы K^k обобщенным показателем потерь вследствие времени нахождения (времени задержки) РЛИ в системе K^t [72]

$$\alpha = (1 - K^k)(1 - K^t). \quad (1.7)$$

Значение функции зависимости информационных потерь от времени нахождения информации в системе носит во многом эмпирический характер, связанный с изменением значимости параметра не только от его абсолютной величины, но и от ценности информации для определенных типов потребителей, от требований к точности РЛИ в определенных зонах пространства, в определенных периодах цикла управления или от конкретно складывающейся воздушной обстановки.

Увеличение времени прохождения РЛИ через систему сопровождается

накоплением ошибок экстраполяции (особенно при маневре объектов), ошибок пересчетов координат и временных задержек при обработке РЛИ в узлах системы. Задержка доставки РЛИ потребителю может достигнуть значений, при которых её использование будет и неактуально, и даже опасно, создавая предпосылки для кризисных ситуаций.

Значимость и количественные показатели допустимого времени задержки информации в системе для различных потребителей и для различных периодов цикла управления можно оценить при анализе нормативных документов, тактико-технических характеристик конкретных комплексов и систем. В большинстве случаев удастся определить вполне определенные количественные требования по допустимому времени задержки доставки РЛИ от источников потребителям.

Значит, можно сформулировать одну из задач проводимого исследования более конкретно: исследование информационной системы с точки зрения минимизации времени нахождения информации в системе как составной части показателя информационных потерь, и последующее построение перспективной информационной системы, основанной на минимизации обобщенного показателя потерь вследствие задержки (времени нахождения) информации в системе.

Эффективность радиолокационной системы, как надсистемы по отношению к информационной, является целевой функцией, для которой будет находиться максимальное значение при минимизации критерия времени нахождения информации в системе:

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha), \text{ где } \mathcal{E}_s \rightarrow \max \text{ при } \alpha \rightarrow \min, T_{\text{суст}} \rightarrow \min \quad (1.8)$$

Ниже будут рассмотрены методы обработки РЛИ, способы построения структуры системы, направленные на максимизацию эффективности радиолокационной системы в целом, и, в частности, на минимизацию интегрального показателя информационных потерь вследствие времени нахождения (задержки) РЛИ в системе.

При изложении материала первой главы были допущены некоторые логиче-

ские несоответствия, в частности, местами упоминались: время доставки информации потребителю, время прохождения информации по системе связи, сокращение цикла боевого управления и другие термины. Эти допущения сделаны для соблюдения правильности цитирования источников. При этом в источниках, как правило, не дается точных определений указанных терминов. В контексте исследования имелось в виду только время нахождения информации в информационной системе.

Выводы по разделу 1

1 Краткий анализ концепции «сетевых войн» показывает, что концепция принята в качестве программ реформирования национальных вооруженных сил в большинстве стран-участников НАТО и в качестве общей программы развития объединенных вооруженных сил альянса. Имеются определенные различия в подходах к реализации концепции. Теория Бойда прямо указывает на важность сокращения времени обработки и доставки информации потребителям, причем цикл OODA на $\frac{3}{4}$ состоит из информационных составляющих.

2 Способы построения единого информационного поля в масштабах национальных вооруженных сил включают принятие общих программ: по унификации протоколов информационного обмена; определению состава объектов, подлежащих переводу в категорию «дейтацентрических» с последующей разработкой соответствующих аппаратно-программных средств; разработку приложений, выполняющих задачу поиска необходимой информации в сетевой среде; разработку ПО «промежуточного слоя», позволяющего включать образованные «дейтацентрические» объекты в сетевую среду.

3 Анализ возможностей ОАЦСС ВС РФ показал, что в ближайшей перспективе построение сетевой структуры обмена информацией в России возможно на её основе.

4 Сформулированы понятия логических и физических уровней информационной системы, сетевой обработки и времени нахождения информации в информационной системе. Эти формулировки необходимы для дальнейшего построения

перспективной информационной системы полносвязной сетевой структуры, которая должна обладать дополнительным свойством одновременного функционирования с существующей информационной системой иерархической структуры.

5 В целях наиболее полного использования свойств локационной информации (обновляемость, непрерывность, достоверность) построение перспективной информационной системы должно осуществляться с разделением функции обработки информации и функции управления. Часть функций обработки может быть перенесена в саму информационную систему.

6 Для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы – способности адекватного отображения воздушной обстановки введен интегральный показатель информационных потерь. В состав интегрального показателя, в свою очередь, введен обобщенный показатель потерь вследствие времени нахождения (времени задержки) радиолокационной информации в системе. Минимизация этого обобщенного показателя по критерию времени нахождения информации в информационной подсистеме, и, как следствие, максимизация эффективности радиолокационной системы в целом, как целевой функции, является одной из основных задач исследования.

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ, СТРУКТУРЫ И УРОВНИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

В главе 2 определяется общая структура исследования, конкретизируются применяемые методы системного анализа, завершается 1-й этап метода сквозного синтеза системы – формирование исходных данных, производится выбор принципиального решения (2-й этап метода сквозного синтеза), и решается задача структурно-параметрического синтеза системы как часть 3-го этапа сквозного синтеза [77, 78, 81, 82, 83, 84, 87, 89, 93, 94, 170, 171, 172, 202, 209].

Современная система управления, в том числе и имеющая в своем составе сетевые структуры, включает в себя ряд подсистем, развивающихся вполне самостоятельно и независимо. Для построения сетевой структуры и последующего применения её для сетецентрического обеспечения управления необходимо с помощью теории системного анализа произвести определение структур, составляющих систему и подсистемы, классифицировать процессы обработки и обмена информацией, определить цели, средства, методы и этапы построения информационной системы сетевой структуры.

Применение перспективного сетевого или существующего иерархического способов функционирования систем и подсистем их составляющих может осуществляться в зависимости от складывающейся воздушной обстановки, необходимости оперативного подключения новых потребителей и источников и т.п. Для реализации этого необходимо разработать способы взаимодействия существующей иерархической и перспективной систем и показать возможность применения метода и алгоритма сетевой обработки РЛИ. Проблема обработки и обмена РЛИ будет рассматриваться на примере автоматизированных систем управления специального назначения, которые являются яркими представителями класса информационных систем, включающими разнородные компоненты и подсистемы.

Поскольку мы имеем дело с большой системой [49, 196], элементы которой сами являются системами, будем применять термины «система», «подсистема» и

«элемент» как к крупным, так и к более мелким составляющим системы. При этом может оказаться, что некоторые компоненты большой системы, выполняющие несколько функций одновременно, при осуществлении одной части функций включают в себя остальные компоненты системы в качестве своих подсистем, а при реализации другой части функций сами включаются в другой компонент в качестве подсистем [49].

2.1 Основные положения системного подхода к исследованию и анализу информационных систем сбора, обработки и обмена локационной информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей

Система сбора, обработки и обмена информацией является неотъемлемой составной частью надсистемы – радиолокационной, управления воздушным движением, сбора метеоданных и т.п. Поэтому достоверность, непрерывность, своевременность и качество информации, получаемой от источников (датчиков-измерителей) и доставляемой потребителям, являются важнейшими её характеристиками.

В исследовании проводится системный анализ основных аспектов возникновения и построения информационных систем, прежде всего, на основе радиолокационных средств. Радиолокационная информация обладает рядом характеристик, которые делают её своего рода уникальной в сравнении с другими видами информации: относительная точность определения местоположения объектов, непрерывность, обновляемость, унифицированность представления, возможность использования для управления воздушным движением и ведения контроля воздушного пространства.

На рисунке 2.1 приведены основные этапы разработки и анализа информационной системы сетевой структуры. Системный анализ является объединяющим для всех видов анализа, он определяет постановку целей, методы поиска решений и результаты выводов.

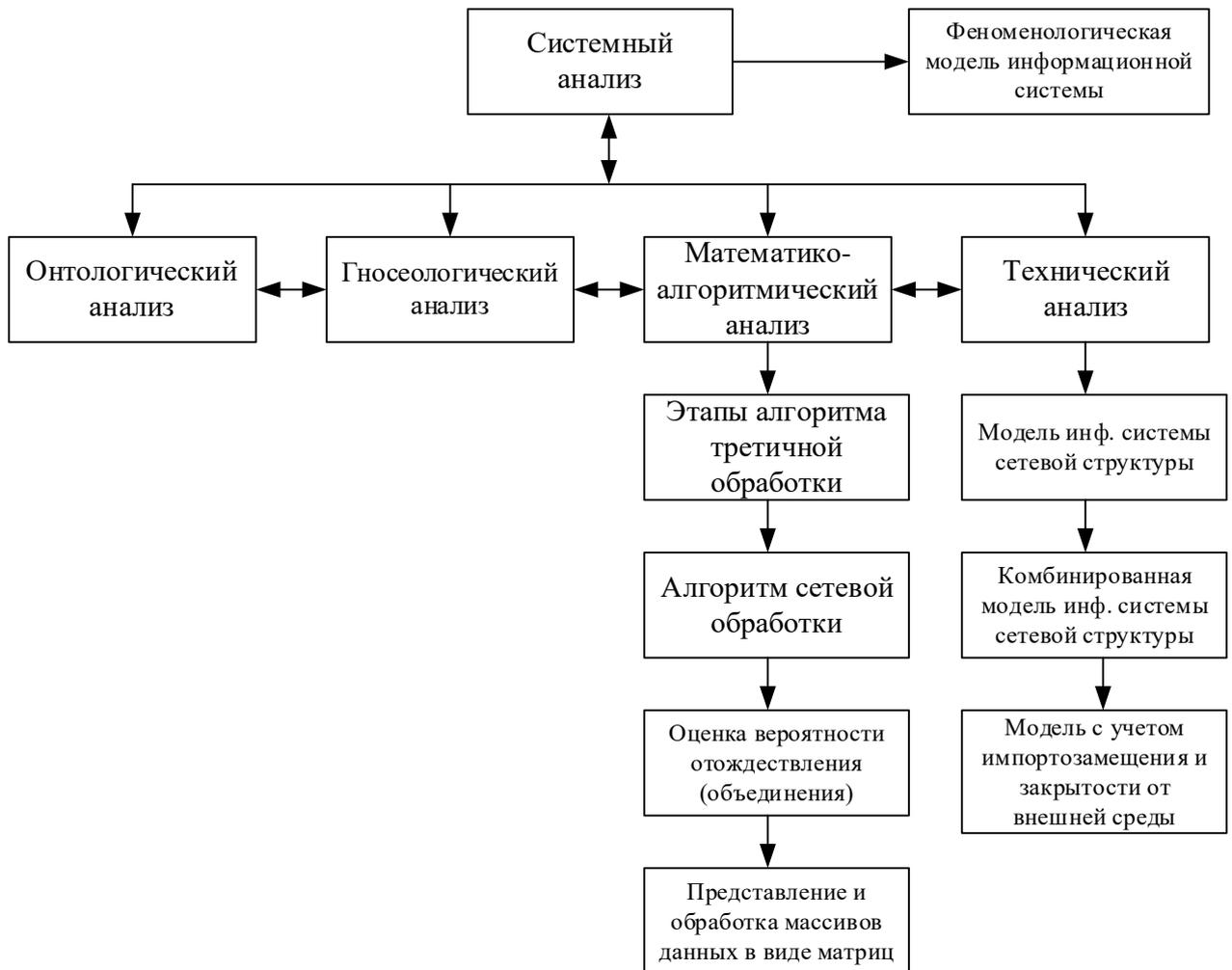


Рисунок 2.1 – Основные этапы разработки и анализа информационной системы сетевой структуры

Онтологический анализ позволяет исследовать процесс возникновения информационных систем в радиолокации с момента появления постов воздушного наблюдения, оповещения и связи (ВНОС) до настоящего времени. Гносеологический анализ дает представление о том, каким образом и на основе каких представлений о движении воздушных объектов изменялись и усложнялись методы сбора и обработки информации и собственно структуры информационных систем. Основные методы обработки РЛИ и алгоритмы, построенные на их основе, а также математические выражения, используемые для построения и оценки алгоритмов и обрабатываемой информации, исследуются с помощью математико-алгоритмического анализа. Технический анализ рассматривает существующие и перспективные

возможности реализации информационных систем, удовлетворяющих возрастающим требованиям по надежности, устойчивости, достоверности передачи информации.

Основные проблемы построения информационных систем сетевой структуры, предназначенных для сбора, обработки и обмена локационной информацией, показаны на схеме рисунка 2.2. В состав проблем не входят те проблемы,



Рисунок 2.2 – «Дерево проблем» информационной системы сбора, обработки и обмена информацией о воздушной обстановке от пространственно разнесенных некогерентных источников

которые решаются в существующей автоматизированной системе управления и не являются предметом исследования, например, выявление и устранение системных ошибок, в том числе юстировки источников, определение координат воздушных объектов по пеленгам источников, нарушение границ установленных воздушных коридоров, опасное сближение воздушных объектов, и целый ряд других, относимых к классу задач реального времени. Методы, методики, алгоритмы решения значительного числа задач реального времени могут применяться и в перспективной информационной системе.

В наиболее общих примерах, когда для обобщения возможностей информа-

ционной системы по объединению разнородной информации, вместо термина «источники» применяется термин «датчики-измерители», а вместо «воздушной обстановки» – «прогнозируемые процессы».

На основании «дерева проблем» произведен выбор целей, а также методов и средств, которыми эти цели достигаются (рисунок 2.3).

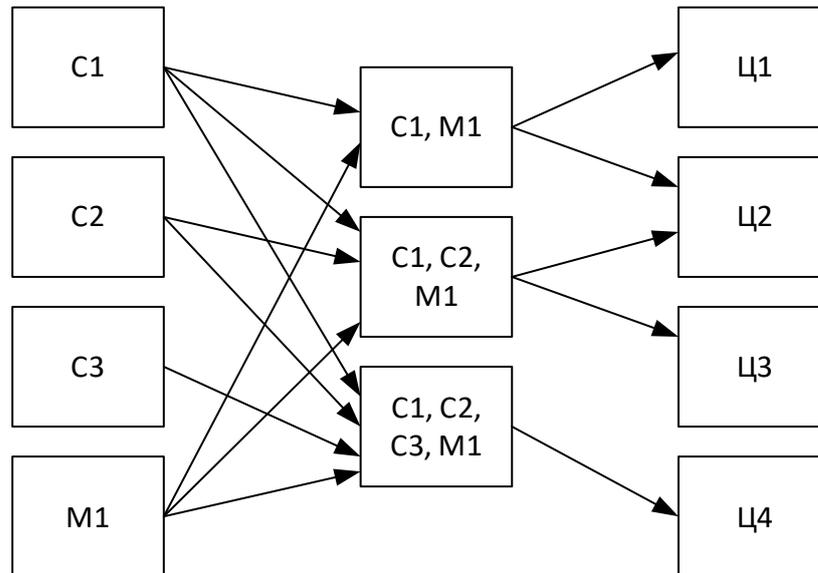


Рисунок 2.3 – Комбинация средств и методов достижения целей

На рисунке 2.3 к целям по иерархии относятся:

Ц1 – объединение информации о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных датчиков-измерителей;

Ц2 – объединение объединенной информации от датчиков-измерителей с информацией в сети;

Ц3 – обеспечение непрерывности и достоверности информации о прогнозируемых процессах при переходах границ смежных зон датчиков-измерителей;

Ц4 – обеспечение учета особенностей протоколов информационного обмена потребителей.

Средства представляют собой технические или математико-алгоритмические составные части для построения информационной системы:

С1 – информационная система сетевой структуры;

С2 – алгоритмы системного уровня, обеспечивающие функционирование информационной системы в целом;

С3 – алгоритмы выдачи информации в соответствии с требованиями потребителей.

Метод, используемый для построения информационной системы сетевой структуры, один – метод сетевой обработки:

М1 – метод сетевой обработки информации, в том числе обработки информации по неполным данным от датчиков-измерителей.

В работе показано последовательное достижение целей Ц1...Ц4 с применением метода сетевой обработки, с разработкой и усовершенствованием средств С1...С3. Цели, метод и средства в ходе исследования подразделялись по необходимости на разновидности, направленные на решение составных частей проблем (рисунок 2.2).

2.2 Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями [78, 81, 82, 83, 84, 209]

Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах пространственно разнесенными, некогерентными дискретными датчиками-измерителями [81] разработана на основе теоретических положений обработки радиолокационной информации [49, 125], дальнейшего развития теории обработки информации [78, 82, 83, 84] и показана на рис. 2.4.

Для данной модели количество устройств сбора и обработки информации ограничено двумя – m_1 и m_2 (в общем случае количество устройств сбора информации определяется требованиями к системе), количество измеряемых процессов N ограничивается техническими и вычислительными возможностями датчиков-измерителей. В роли датчиков-измерителей могут быть радиолокационные станции (РЛС), в том числе из состава многопозиционных РЛС (МП РЛС), оптические, радиолокационные и ИК-модули, объединенные информационной системой сетевой структуры в систему обнаружения воздушных объектов, а в общем случае – любые датчики-измерители, осуществляющие мониторинг прогнозируемых процессов (температура, давление, влажность, показатели ионизации, метеоданные и т.п.).

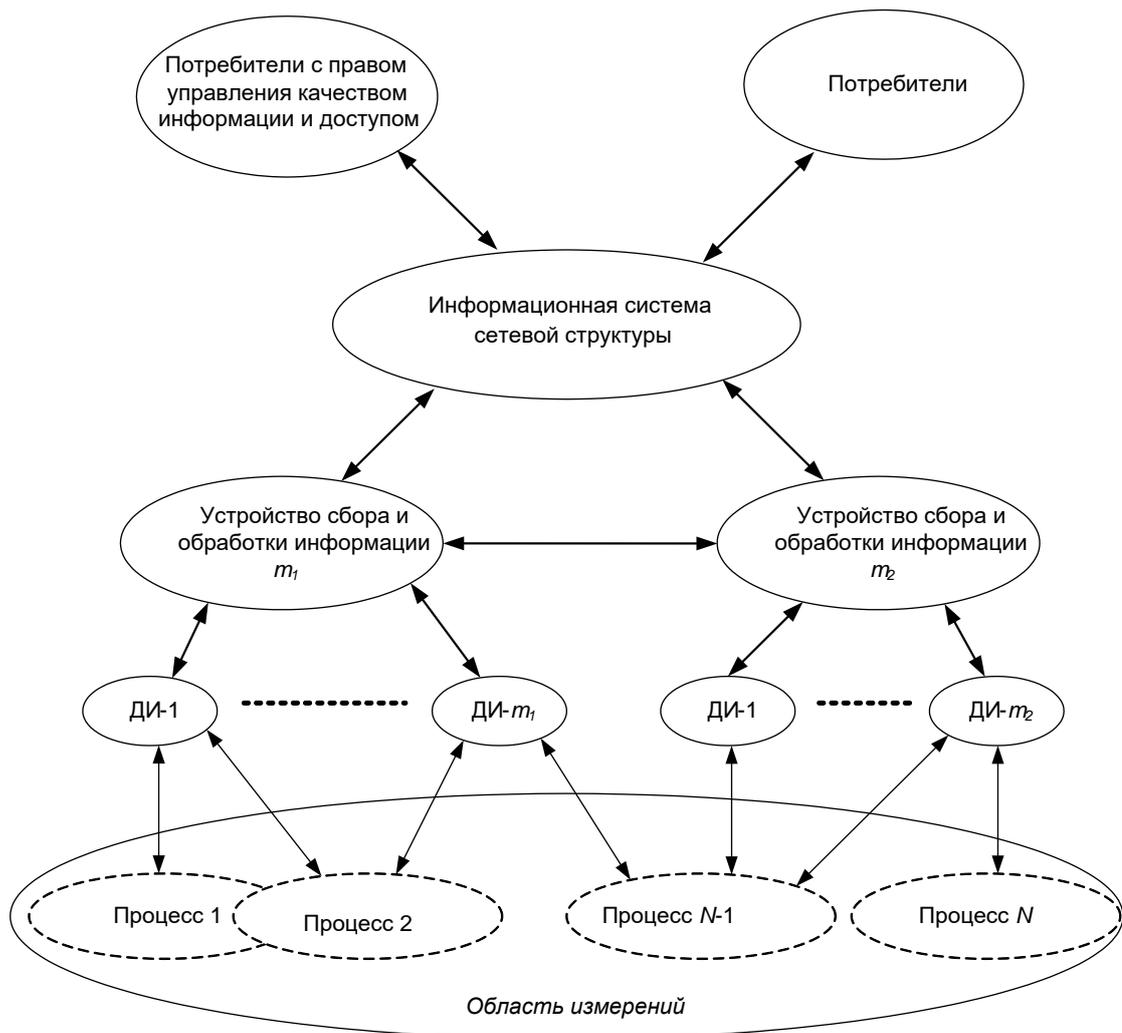


Рисунок 2.4. – Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах пространственно-разнесенными некогерентными дискретными датчиками-измерителями

Здесь необходимо отметить следующие особенности обработки и построения структуры информационной системы:

1. Сетевая структура информационной системы образована только устройствами (серверами) сбора и обработки информации, на которых находится специализированное программное обеспечение (СПО), унифицированное для всех устройств сбора и обработки информации. Эта особенность позволяет решать задачи импортозамещения и изолированности информационной системы от сетей общего пользования [82].

2. Объединение информации от разнородных датчиков-измерителей и синхронизация объединенной информации с информацией сети производится на

устройствах сбора и обработки информации (серверах).

3. Информационные протоколы любых датчиков-измерителей информации о прогнозируемых процессах преобразуются к единому протоколу также на устройствах сбора и обработки. Данные в сети приобретают однородность по представлению информации в сети.

4. На устройствах сбора и обработки информации (серверах) в составе СПО также имеются алгоритмы более высокого, системного уровня, решающие задачи организации правильного обмена информации в сети (удаление повторяющейся, устаревшей информации, обеспечение самовосстановления сети при отказах линий передачи данных и др.).

Совокупность СПО информационной системы, находящегося на пространственно разнесенных серверах и синхронизированное по времени, является распределенным векторным вычислителем (РВВ). Синхронизированный массив данных о воздушных объектах, образованный СПО РВВ и обновляющийся с поступлением каждого нового сообщения от датчиков-измерителей, является динамическим массивом однородных данных о наблюдаемых прогнозируемых процессах [78, 165, 166, 170, 202]. Обновление данных в массиве и их синхронизация в сети в соответствии с показаниями датчиков-измерителей осуществляется распределенным векторным вычислителем. Математический аппарат формирования динамического массива однородных данных на основе теории матриц для радиолокационной информации показан в разделе 4. Область применения распределенного векторного вычислителя можно выделить на феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями (рис. 2.5).

Данные о прогнозируемых процессах, получаемые датчиками-измерителями, обрабатываются и обновляются с помощью распределенного векторного вычислителя. Данные существуют в информационной системе сетевой структуры в виде динамического массива. В целях уменьшения времени обработки больших объемов информации массив однородных данных может быть представлен в виде обновляемых матриц.

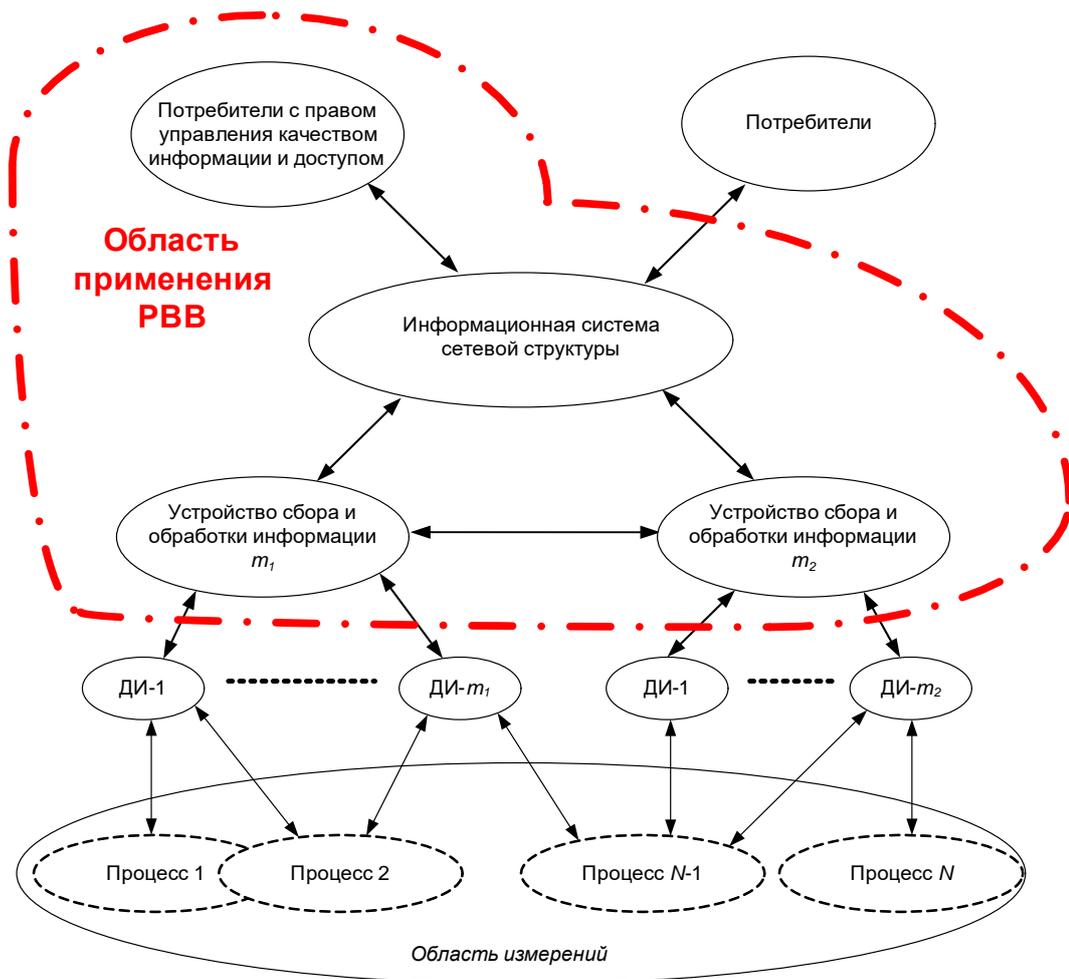


Рисунок 2. 5– Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями с выделенной областью применения распределенного векторного вычислителя (РВВ)

Управление качеством информации [209] осуществляется посредством распределенного векторного вычислителя. Предназначенное для управления качеством информации СПО находится на компьютерах потребителей с правом управления качеством информации и правом доступа, и на устройствах сбора и обработки информации. Обычные потребители права доступа к управлению качеством информации не имеют.

Параметрами, влияющими на управление качеством информации в информационной системе, являются параметры обработки и экстраполяции прогнозируе-

мых процессов, в основном это вероятностные характеристики областей объединения информации от датчиков-измерителей. На управление качеством информации в сетевой информационной системе также оказывает влияние ограничение доступа обычных потребителей к информации, имеющейся в сети – к определенным датчикам-измерителям, к определенной области пространства, области измеряемых параметров – температуры, давления, влажности и т.п.

2.3 Структура исследования по построению информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства

Во введении отмечено, что для решения научной проблемы исследования применен метод сквозного синтеза, на различных этапах которого были применены другие методы системного анализа для получения оптимального результата. В соответствии с [50, 51, 52] метод состоит из пяти этапов (рис. 2.6):

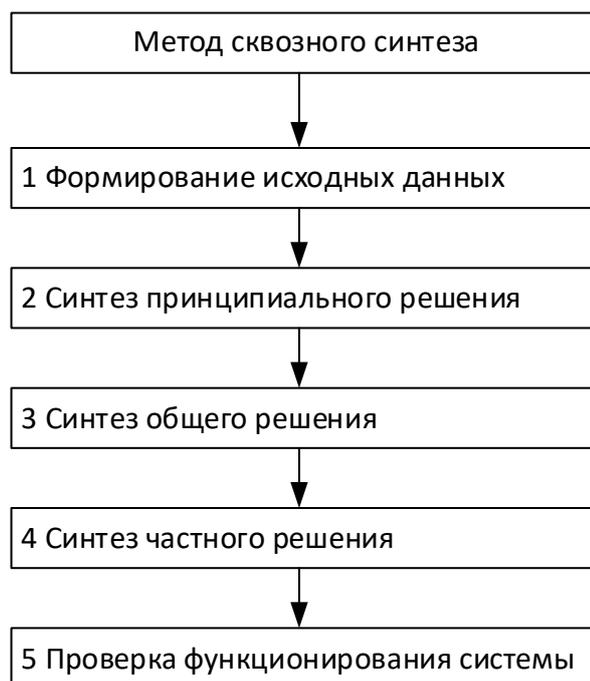


Рисунок 2.6 – Этапы метода сквозного синтеза

Исследование построено на последовательной реализации указанных этапов. Содержание 1-го этапа показано на рис. 2.7 [87].



Рисунок 2.7 – Содержание 1-го этапа метода сквозного синтеза

На 1-ом этапе одной из самых важных задач является формирование совокупности обобщенных показателей качества [49, 50]. В исследовании эта задача решена выбором интегрального показателя информационных потерь (раздел 1). Далее определена целевая функция как эффективность радиолокационной системы по критерию минимизации времени нахождения информации в информационной системе (раздел 1).

К исходным данным также относится формирование и обоснование ограничивающих условий (рис. 2.8), полученных в результате онтологического, гносеологического, математико-алгоритмического и технического анализа исходных данных.

Некоторые из ограничивающих условий необходимо пояснить подробнее, в частности:

- функции управления и обработки информации в перспективной информационной системе должны быть разделены, причем функция обработки должна быть реализована в узлах самой информационной системы, а не в узлах, в которых реализуется функция управления;

- система в части выполнения функций обработки и обмена информации

должна быть построена на основе сетевой структуры, а в части функции управления – должна быть обеспечена передачи информации управления по существующей логической иерархической структуре без ухудшения качества. Логическая иерархическая структура управления должна быть реализована технически и программно в сетевой структуре перспективной информационной системы;

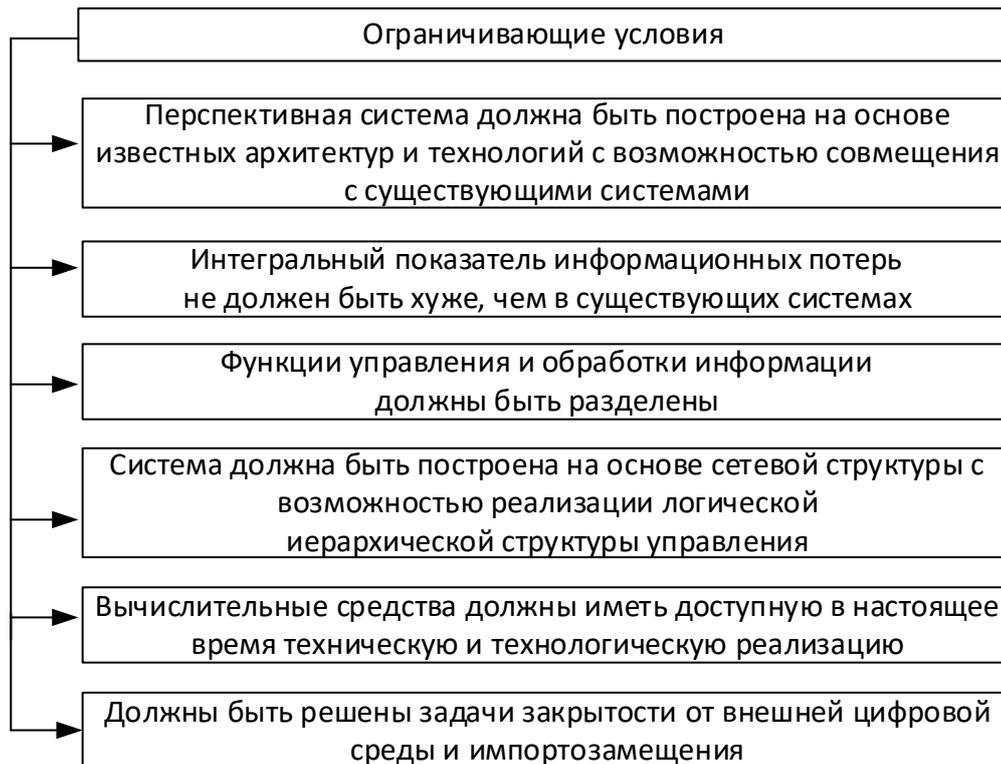


Рисунок 2.8 Формирование ограничивающих условий

– вычислительные средства, применяемые при обработке и обмене информации в системе, должны иметь доступную техническую и технологическую реализацию, а вычислительная сложность новых методов обработки не должна превышать их возможности.

Для оценки обобщенного показателя качества по времени задержки в информационной системе и сравнения этого показателя для иерархической и сетевой структур применен метод энтропийного подхода (раздел 5).

Синтез принципиального решения (2 этап) при решении задачи сквозного синтеза системы в данном случае не проводится, так как применение комбинации известных информационных структур и информационных технологий является од-

ним из ограничивающих условий. Такой подход не противоречит решению научной проблемы построения перспективной информационной системы методом сквозного синтеза [50, 51, 52] и относится ко II классу задач синтеза – задачи высокой сложности [50].

Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства

При синтезе общего решения (3-й этап) применен метод структурно-параметрического синтеза [53, 54].

Основным критерием явилось время нахождения информации в системе и его минимизация. При разработке новых алгоритмов обработки и обмена информации в системе использовался эвристический метод синтеза с оптимизацией по выбранным критериям. Дополнительным критерием при разработке метода сетевой обработки информации выбран критерий минимизации количества ветвящихся решений (гипотез) при сравнении сообщений о воздушных объектах. Синтез общего решения является наиболее объемным и сложным с научной точки зрения этапом построения системы [49, 53, 54], поэтому ниже он рассмотрен подробнее.

В формализованном виде задачу структурно-параметрического синтеза информационной системы мониторинга воздушного пространства можно представить следующим образом, изменив составные части задачи синтеза, приведенные в [54].

Необходимо определить такое множество элементов структуры **SN**, множество связей между элементами **D**, множество методов анализа, обработки и обмена информации **MI**, а также множество параметров **PRM** для каждого элемента структуры системы, при которых целевая функция эффективности \mathcal{E} (раздел 1) достигает максимума [87]

$$\{\mathbf{SN}, \mathbf{PRM}\} = \arg \max_{\mathbf{SN}, \mathbf{PRM}} (\mathcal{E}), \quad (2.1)$$

где $\mathbf{SN} = (\mathbf{O}, \mathbf{NA}, \mathbf{D}, \mathbf{MI})$, **O** – множество ограничивающих условий, **NA** – множество видов архитектур системы и их комбинаций;

при выполнении:

- множеств ограничений **SO** на связи между элементами структуры **SN**:

$$\mathbf{SO} = \{so_i\}, so_i \rightarrow \gamma_i(D) \subseteq \mathbf{D} \quad (2.2)$$

- множеств ограничений **PO** на область значений параметров:

$$\mathbf{PO} = \{po_i\}, po_i \rightarrow \begin{cases} \varphi_i(PRM) = 0, \\ \varphi_i(PRM) < 0, \\ \varphi_i(PRM) \in PRM_i \end{cases}, \quad (2.3)$$

- множеств ограничений **RO** на минимальные и максимальные границы значений оценок эффективности системы:

$$\mathbf{RO} = \{ro_i\}, so_i \rightarrow \beta_i^{\min} \leq \psi_i(\mathcal{E}) \leq \beta_i^{\max}, \quad (2.4)$$

где $\gamma_i(D)$ – функция, формирующая подмножество связей в соответствии с условием so_i , которые должны входить в сформированное множество **D**, $\varphi_i(PRM)$ – функция, преобразующая параметры системы к виду, в котором их можно использовать в равенствах, неравенствах или для проверки вхождения в некоторые подмножества PRM_i , в основном связанных с выполнением временных ограничений при обработке и обмене информацией; $\psi_i(\mathcal{E})$ – функция, преобразующая целевую функцию эффективности или её отдельные компоненты для проверки соответствия минимальным β_i^{\min} и максимальным β_i^{\max} допустимым границам.

Выбор и определение целевой функции, интегрального показателя информационных потерь и входящих в него обобщенных показателей качества произведен в разделе 1.

Из описания и формализованного представления задачи структурно-параметрического синтеза можно сделать следующие выводы:

1. Структурный и параметрический синтез системы сбора, обработки и обмена локационной информацией может проводиться параллельно, но с согласованием полученных результатов на промежуточных этапах. Задача структурного синтеза не может быть решена без решения задачи параметрического синтеза, в частности, без разработки методов обработки информации.

2. Некоторые ограничивающие условия могут выступать в качестве дополнительных критериев при структурном синтезе.

3. Для решения задач параметрического синтеза необходима формулировка дополнительного критерия.

Основные этапы структурно-параметрического синтеза приведены на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Основные этапы структурно-параметрического синтеза

Из рисунка 2.9 видно, что решение задачи структурно-параметрического синтеза на 3-ем этапе метода сквозного синтеза является многокритериальным с одним основным критерием, для структурного и параметрического синтеза введены дополнительные критерии в соответствии с ограничивающими условиями.

Эвристический метод синтеза с оптимизацией по дополнительному критерию и учетом ограничивающих условий, как этап структурно-параметрического синтеза, опирается на закон оптимальных по критериям функционирования соотношений структурных параметров систем [51, 52].

Синтез частного решения на 4-м этапе реализован разработкой алгоритмов обработки и обмена информацией на основе общего решения, применением современных информационных технологий в области сбора, обработки, передачи и обмена информацией. Результаты этого этапа отражены в конструкторской и программной документации, разработанной в ходе выполнения составной части ОКР «Азалия» [174].

На 5 этапе проведена проверка функционирования системы методами имитационного моделирования, натурных и полунатурных испытаний, дополнительно проведено математическое моделирование некоторых качественных параметров системы.

2.4 Уровни автоматизированной системы управления [77, 78, 89, 94]

Под автоматизированной системой управления понимается комплекс аппаратно-программных средств и персонала, предназначенный для управления различными процессами. Термин «автоматизированная» сохраняет за человеком функции, которые не поддаются полной автоматизации, или имеют наиболее общий, целеполагающий характер.

В качестве уровней автоматизированной системы управления (АСУ) обычно приводятся три: уровень датчиков (сенсоров) добывания информации, он же уровень исполнительных устройств, уровень средств сбора и обработки информации, и уровень оператора, связанного с АСУ посредством человеко-машинного интерфейса. Рассмотрение уровней АСУ сводится в основном к рассмотрению схем взаимодействия гетерогенных систем и подсистем, источников и потребителей информации различных уровней иерархии. Радиолокационная система включает информационную подсистему, в том числе автоматизированную систему управления

(АСУ), которая является основным источником информации о воздушной обстановке. Для диссертационного исследования представляет интерес схема построения уровней сложной информационной системы с учетом системы связи и передачи информации. Причем добиться желаемого эффекта предполагается за счет встраивания подструктуры, построенной по сетевым принципам в определенный уровень иерархии АСУ.

На рисунке 2.10 показаны уровни построения существующей АСУ и уровень подструктуры, которая при их совместном функционировании изменит качество АСУ в целом.

УРОВНИ АСУ

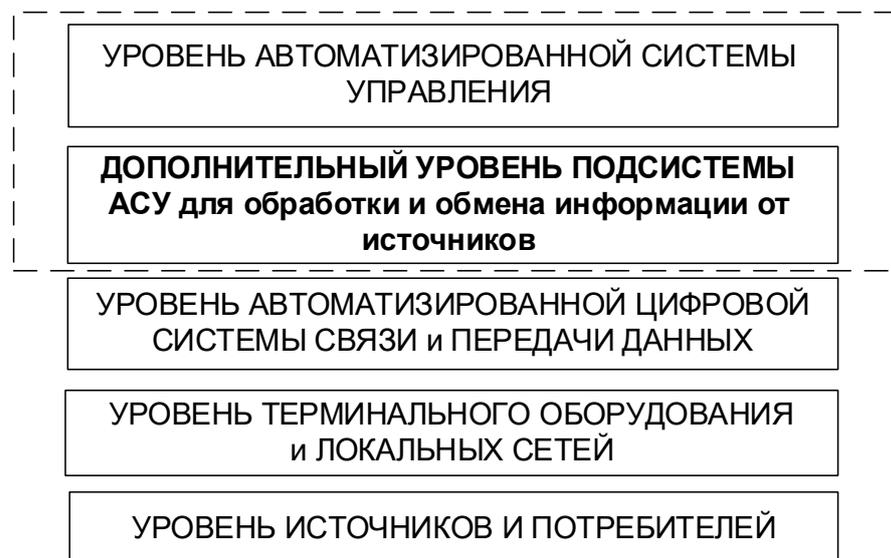


Рисунок 2.10 – Уровни АСУ

Одной из особенностей информационных сетевых структур является возможность обеспечения ситуационной осведомленности, т.е. обеспечения одновременного доступа к информации не только потребителям, подключенным по прямым некоммутируемым каналам обмена данными с КСА, но и другим потребителям, имеющим разрешенный доступ и необходимость в получении информации о воздушной обстановке. Поэтому возникает задача разработки такого способа подключения узлов (серверов) обработки РЛИ перспективной информационной подси-

системы к сетевидной информационной системе, который обеспечил бы реализацию функции ситуационной осведомленности с учетом особенностей построения существующей АСУ. Одновременное выполнение этих условий позволяет функционировать смешанным структурам построения АСУ в переходный период, обеспечивая постепенное, без нарушения процессов управления и обмена РЛИ, замещение структуры одного типа (иерархического) на другой – сетевой.

Для решения указанных задач введем новую структуру нижнего уровня АСУ и назовем её автоматизированной системой обработки и обмена информацией (АСОИИ) (рис. 2.11).

УРОВЕНЬ АСОИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АСУ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

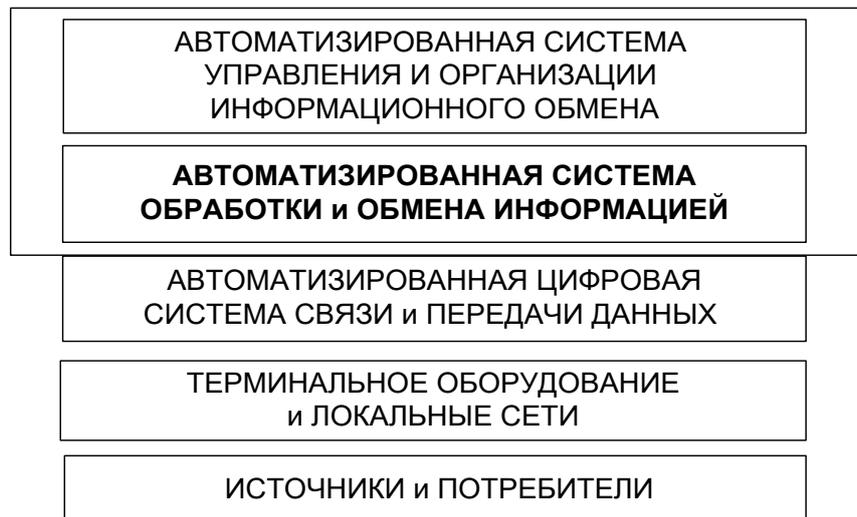


Рисунок 2.11 – Уровень АСОИИ при построении АСУ сетевой структуры

Конкретизируем уровни АСУ сетевой структуры, их функции и взаимодействие. Покажем, что с новой сетевой подструктурой АСУ в целом приобретает качества, позволяющие существенно уменьшить время прохождения РЛИ в АСУ и получить ряд синергетических эффектов (рис. 2.12).

Структура АСУ в соответствии с рисунком 2.12 разделяется на две подструктуры. Первая подструктура (управление) остается без изменений, как в иерархической топологии. Она имеет два уровня – логический и физический, оба иерархиче-

ской топологии в соответствии с принципом подчиненности и требуемыми направлениями обмена информацией. Вторая подструктура, которая получила название автоматизированной системой обмена и обработки РЛИ, имеет также два уровня – логический и физический.

Уровни перспективной АСУ

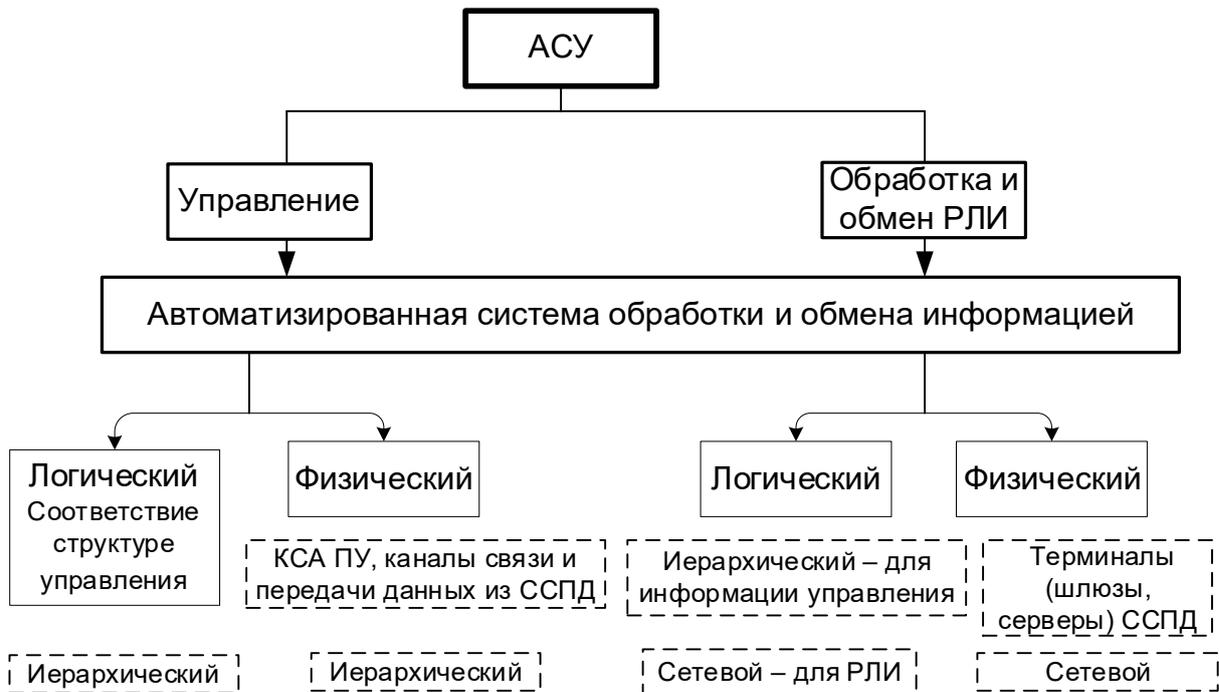


Рисунок 2.12 – Уровни перспективной комбинированной АСУ сетевой структуры

На рисунке 2.12 КСА ПУ – комплексы средств автоматизации пунктов управления, ССПД – система связи и передачи данных.

Автоматизированная система обработки и обмена информацией, имеющая сетевую структуру обмена и обработки РЛИ, является подсистемой АСУ второго уровня (рис. 2.11). Структура АСУ в целом остается иерархической на логическом и физическом уровнях, но приобретает новые сетевые качества за счет подсистемы типа АСООИ. При этом АСООИ имеет свои логический и физический уровни, и сетевую топологию обеих уровней.

На логический уровень АСООИ возлагаются две основные функции – обмен радиолокационной информацией в соответствии с сетевой структурой и обмен ин-

формацией управления в соответствии с иерархической структурой. Под информацией управления понимаются команды, сигналы, донесения, квитанции и т.п., а также РЛИ с признаками присвоения нового номера, воздействия (целераспределения, целеуказания и т.п.), то есть радиолокационная информация после обработки на КСА, направленная конкретному потребителю в соответствии с иерархической схемой управления. Эта информация в АСООИ не обрабатывается и не объединяется с однородной РЛИ, соответствующей единому протоколу обмена, а направляется конкретному потребителю, как и в прежней, иерархической структуре. Однородная РЛИ, циркулирующая в сетевой структуре АСООИ, объединяется с информацией от источников только через точки ввода (серверы) АСООИ. Задержка при вводе (объединении) РЛИ в сетевой структуре должна быть минимальна и намного меньше времени прохождения данных по сети передачи данных. Структура логического уровня АСООИ в отношении РЛИ – сетевая. Существующая логическая иерархическая структура обмена обработанной РЛИ и информации управления обеспечивается в АСООИ программно-техническим способом.

Физический уровень АСООИ состоит из цифровых сетей передачи данных и связи, и узлов АСООИ, то есть терминалов. Терминалы являются точками ввода-вывода однородной РЛИ, своего рода «базовыми ячейками» АСООИ. В их состав входят шлюзы и серверы, исходя из выполняемых функций: шлюзы предназначены для конвертации протоколов, предварительной подготовки информации к обработке, перенаправления третичной информации от КСА по логическим IP адресам, серверы – для обработки информации.

Структура физического уровня АСООИ – сетевая. В предположении, что радиолокационная информация в АСООИ является однородной, имеет единый протокол обмена, каждое сообщение о воздушном объекте имеет признаки времени локации, номера источника и номера точки ввода (терминала) в АСООИ.

При таком построении не нарушается функционирование АСУ существующей структуры и прохождение информации по иерархическому «стволу» АСУ в целом. Может иметь место лишь некоторое увеличение трафика между пунктами управления.

Более подробно функции логического уровня АСООИ определяются следующим образом:

- обеспечение работы системы в существующем режиме и в режиме с подключением сетевой подструктуры;
- конвертация протоколов источников и потребителей в протокол АСООИ;
- объединение РЛИ от разных источников, подключенных к АСООИ;
- объединение РЛИ от источников, подключенных к точкам ввода, с РЛИ, циркулирующей в АСООИ;
- обеспечение работы АСООИ по принципу самоорганизации, автоматическое восстановление каналов передачи данных и маршрутов обхода;
- обеспечение сетевых правил «существования» РЛИ: уничтожение устаревшей информации; пресечение заикливания (образование петель) информации и широковещательного «шторма»; резервирование маршрутов; определение оптимальных маршрутов обмена информацией и постоянный мониторинг обходных маршрутов для своевременного восстановления.

Необходимо отметить, что подобная структура изначально предполагает взаимодействие с существующей без нарушения её функционирования, и имеет некоторую избыточность вследствие наличия в АСООИ третичной информации после обработки на КСА. Важным является то, что РЛИ после обработки на КСА не объединяется с однородной информацией АСООИ.

Разберем более подробно особенности, проблемные вопросы и те возможно негативные моменты, которые могут вызвать несоответствие функциональности по сравнению с существующей системой.

В настоящее время используются протоколы информационного обмена (например, Asterix [194]), которые позволяют определить и закрепить информационную принадлежность каждого сообщения, то есть, когда и каким устройством (датчиком) оно обработано и получено. Каждое сообщение содержит информацию не только о конкретной РЛС и времени локации объекта, но и о терминале (точке ввода РЛИ в АСООИ).

Команды (сигналы) управления в подавляющем большинстве являются непериодическими, не имеют большого информационного объема. Вместе с тем, время их доведения, как правило, регламентировано, и адресат точно определен. Для их доставки в АСООИ достаточно определить и назначить логические каналы передачи командной информации, логическая структура которых будет совпадать с иерархической структурой подчиненности. В современных цифровых информационных сетях эта задача достаточно легко выполнима.

Автоматизированная система обработки и обмена информацией имеет точки ввода-вывода информации и точки обработки проходящей по сети информации, получившие название терминалы обработки РЛИ. Терминалы состоят из шлюзов и серверов. На серверах происходит объединение информации от нескольких источников между собой и объединенной РЛИ с информацией, находящейся в сети. Шлюзы осуществляют конвертацию протоколов для обеспечения однородности РЛИ в сетевой структуре АСООИ при сборе, обработке от источников и обратного преобразования однородной информации АСООИ в протоколы потребителей и выдачи потребителям, а также обеспечивают обмен речевой информацией опять-таки с конвертацией из различных, в том числе аналоговых протоколов, в единый цифровой протокол.

В целом отличие процесса обработки РЛИ в сетевой структуре состоит в переносе части функций обработки информации, реализуемых на КСА, в сетевую структуру АСООИ. Подобное решение не противоречит теоретическому подходу к построению распределенных сетей [63].

Терминалы подключаются к одному или нескольким источникам, а также обеспечивают обмен информацией АСООИ. Это не позволяет эффективно применить известные алгоритмы классической обработки (объединения) РЛИ в силу того, что они разработаны для других условий функционирования и другого вида структуры АСУ (иерархического), с последовательной обработкой в каждом узле структуры [43, 125, 127]. Кроме того, алгоритмов для выдачи РЛИ различного вида потребителям, подключенным к АСООИ, не существует.

Остается вопрос перенасыщения АСООИ устаревшей информацией, зацикливания кодограмм РЛИ и т.п. Для решения этих задач требуется разработка новых алгоритмов, алгоритмов более высокого, системного уровня, которые будут управлять обменом информации в АСООИ.

2.5 Структурная схема подключения источников и потребителей к терминалам обработки РЛИ в сетевой структуре и определение порядка её функционирования [77, 78, 89, 94]

Одной из особенностей предлагаемой сетевой структуры является возможность обеспечения ситуационной осведомленности, то есть обеспечения доступа к информации не только потребителям, подключенным по прямым некоммутируемым каналам обмена данными с КСА, но и другим потребителям, имеющим разрешенный доступ и необходимость в получении информации о воздушной обстановке. Такая система должна, с одной стороны, сохранять прежние свойства иерархической подчиненности и четкого определения ответственности по зонам (областям) пространства, с другой – обладать сетевыми свойствами, чтобы каждый подключенный к системе потребитель имел возможность получать информацию такого же качества, что и органы управления.

На рисунке 2.13 показан упрощенный вариант существующей трехуровневой структуры АСУ. Подобная структура имеет ряд существенных недостатков [57]. В такой структуре реализуются только прямые каналы обмена, которые работают по принципу «точка – точка»: «источник РЛИ – КСА», «КСА – потребитель РЛИ» и «КСА – КСА».

Существующая иерархическая структура АСУ совмещает иерархическую подчиненность и иерархические информационные потоки, вследствие этого имеет следующие особенности:

– РЛИ не может быть доставлена потребителю, если для этого не предусмотрен прямой канал обмена и отсутствует согласованный протокол обмена;

– задержки и погрешности при обработке РЛИ в узлах иерархической структуры накапливаются и ухудшают качество РЛИ.

– при наличии каналов передачи информации с большой пропускной способностью количество «транзитной» информации, передаваемой на соседние «ветви» иерархической структуры, значительно перегружает систему связи. Известно также об уязвимости подобных структур при нарушениях обмена информацией.

Кроме каналов связи, обеспечивающих обмен информацией в иерархической структуре, существуют взаимодействующие каналы обмена информацией. Эти каналы прямые и не переключаемые, т.е. также работают по принципу «точка - точка».

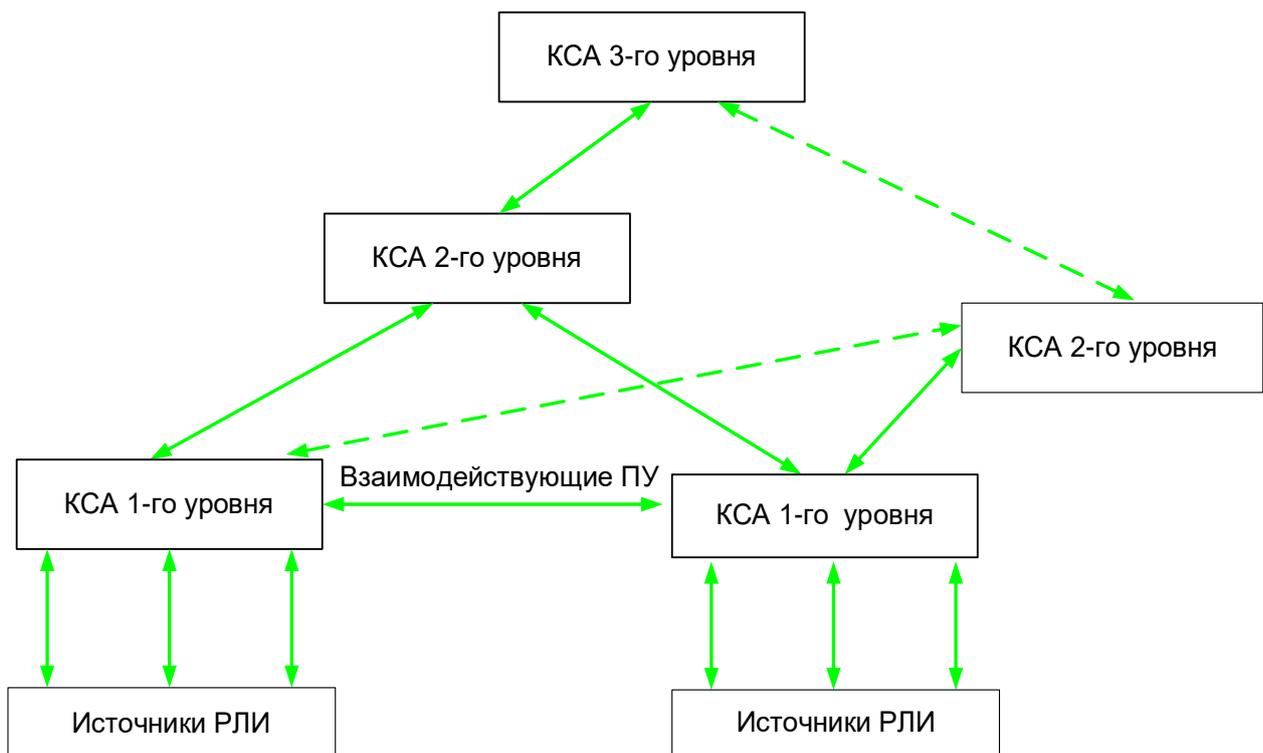


Рисунок 2.13 – Упрощенный вариант существующей трехуровневой структуры АСУ

Следовательно, существующая иерархическая структура по своей природе не может в полной мере обеспечить ситуационную осведомленность и существенно сократить время доставки информации потребителю.

Поэтому целесообразной является реализация сетевой структуры, основой

которой является подсистема сбора, обработки и обмена РЛИ. Её техническую основу формируют серверы обработки РЛИ, входящие в состав терминалов. Поэтому, если по контексту будет идти речь об обработке информации, будут употребляться термины «сервер» и «терминал».

Реализация сетевой структуры, в соответствии с вновь введенными уровнями, требует разработки способов подключения источников и потребителей информации к этой структуре.

Прежде всего, существующий принцип единоначалия и иерархии подчиненности, то есть логической взаимосвязи источников и потребителей и в системе ЕС ОрВД, и между воинскими подразделениями, остается неизменным, так же, как и набор определенных полномочий органов управления соответствующего уровня. На основании этих полномочий, с одной стороны, происходит управление, контроль, реализация единого замысла и т.п. С другой стороны, для обеспечения одинакового качества информации на всех уровнях логической иерархической структуры необходимо внедрить в нее логическую сетевую структуру обработки и обмена РЛИ. Для сетевой структуры большинство участников имеют одинаковый доступ по отношению к разрешенной для них информации. В данном случае не рассматривается сеть и сетевая структура собственно подсистемы связи и передачи данных, она в настоящее время одинакова для любого типа структуры и является технической особенностью построения подсистемы связи. То есть на интуитивно-эвристическом уровне существует «слоеный пирог» из различных систем, причем каждая из них имеет свою структуру, свои внутренние законы и тенденции развития. Эти внутренние законы и тенденции не всегда направлены на улучшение функциональных и иных характеристик информационных систем. В общем виде разработчикам систем более высокого уровня может удаваться (или не удаваться) использовать отдельные отличительные признаки, свойства, параметры различных подсистем и структур, входящих в систему, для решения возникающих специфических задач.

Предлагается, не изменяя логическую составляющую иерархической струк-

туры управления, между АСУ и подсистемой связи и передачи данных, ввести промежуточную логическую и физическую сетевую структуру, которая будет ответственна только за сбор, обработку и обмен радиолокационной информацией (АСОИИ). Обработка при вводе РЛИ в эту структуру производится только в определенных точках (терминалах). Ранее эту роль выполняли узлы обработки информации на пунктах управления (КСА).

Если предположить, что вся информация при вводе в такую сетевую структуру приводится к единому протоколу, и установить критерии ее качества, то для всех потребителей, подключенных к ней, информация будет доставляться практически одновременно.

Дополнительная задача построения информационной системы сетевой структуры как составной части сетцентрической системы управления состоит в интеграции и обеспечения одновременного функционирования с аппаратными и программными средствами существующей АСУ. Очевидно, что при совмещении перспективных и существующих средств обработки РЛИ общие характеристики системы возрастут, но не столь значительно, как при использовании специально разработанных для сетевой структуры средств.

Рассмотрим оба варианта построения и функционирования АСОИИ – с совмещением с существующей структурой, и при использовании только специально разработанных для сетевой структуры средств обработки.

При совмещении с существующей структурой необходимо разработать способ подключения серверов обработки РЛИ и КСА к сетевой структуре, обеспечивающий реализацию ситуационной осведомленности с учетом особенностей построения существующей АСУ. При этом АСОИИ выполняет функцию обеспечения взаимодействия существующей АСУ и перспективной сетевой структуры. Кроме того, обеспечивается постепенное, без нарушения процессов управления и обмена РЛИ, территориально-объектовое замещение структуры иерархического типа на сетевую и создание предпосылок перехода к сетцентрическому типу управления при сохранении иерархической (логической) подчиненности.

Основу построения АСООИ составляют серверы обработки РЛИ как узлы сетевой структуры. Кроме серверов в узлах структуры находятся устройства преобразования протоколов источников и потребителей РЛИ в единый протокол (шлюзы), а также сервер объединения информации от источников, непосредственно подключенных к серверу, и информации, циркулирующей в АСООИ. То есть узел АСООИ (терминал) как точка ввода-вывода, сбора и обработки РЛИ представляет собой совокупность вычислительных средств.

В состав терминала входят серверы обработки РЛИ, а также шлюзы речевой и телекодовой информации. Взаимодействие источников и потребителей информации определяется протоколами функционального взаимодействия, разнообразие которых обусловлено сочетаниями типов источников и потребителей. Терминал обработки в сетевой информационной структуре должен иметь возможность настраиваться на обмен информацией с любыми типами источников и потребителей. Терминал обеспечивает встраивание функциональных дейтацентрических групп в сетевую структуру, позволяя наиболее полно использовать имеющиеся средства вооружения, управления и связи без их доработки.

На рисунке 2.14 показана схема подключения источников и потребителей информации трехуровневой иерархической структуры к терминалам обработки РЛИ, иллюстрирующая способ подключения к существующей АСУ. Совокупность терминалов и каналов передачи данных между ними и представляют собой АСООИ.

Необходимо подчеркнуть, что в совокупности АСООИ и ее составные части базируются на сетях связи и передачи данных, которые, в свою очередь, входят в состав подсистемы связи. Подсистема связи, АСООИ, а также составные части существующей АСУ придают общей системе новое качество – сетецентричность, что обеспечит уменьшение времени доставки РЛИ потребителям, увеличение ситуационной осведомленности, и в итоге – сокращение длительности цикла боевого управления или времени реакции на управление воздушным движением.

Одновременно рисунок 2.14 представляет вариант построения существующей и сетевой структур при совместном функционировании. Общая схема получила название «комбинированной».

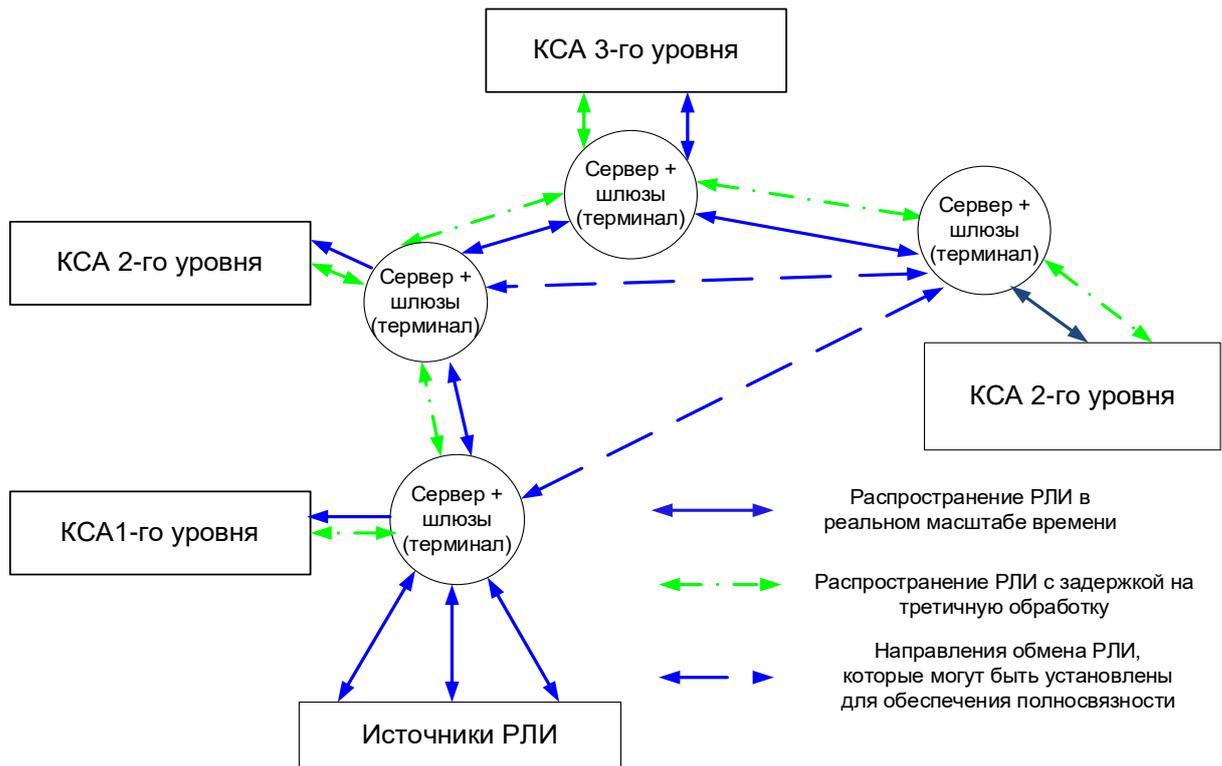


Рисунок 2.14 – Схема подключения источников и потребителей РЛИ к терминалам АСОИ и ее взаимодействие с существующей АСУ

Узлы сетевой структуры (терминалы) подключаются к КСА ПУ параллельно и формируют собой полновязную сеть. Информация в этой сети должна иметь единый протокол обмена, что обеспечивает ее доставку любым потребителям. Конвертация в протоколы потребителей производится непосредственно перед её выдачей с использованием шлюзов из состава терминалов, обладающих необходимым набором протоколов и физических интерфейсов. Шлюзы телекодированной информации из состава терминалов осуществляют, кроме конвертации протоколов, адресацию в соответствии с логической иерархической структурой управления и инкапсуляцию третичной информации в общий цифровой поток. Третичная информация с элементами управления не обрабатывается на серверах собственно АСОИ.

В «комбинированной схеме» в структуре АСОИ, кроме однородной информации от источников, циркулирует информация из прежней структуры, то есть РЛИ после третичной обработки. Эти информационные потоки необходимо сохранить для нормального взаимодействия КСА и корректного прохождения информа-

ции по существующей иерархической логической структуре АСУ в целом. Естественно, появляется вопрос относительно того, что изменится по сравнению с существующей структурой и в чем будет выигрыш.

Рассмотрим функционирование «комбинированной» АСУ в динамике (рис. 2.14). Информация, показанная синими (сплошными) стрелками, распространяется по системе и приходит на все КСА практически одновременно. Информация, обозначенная зелеными (штрихпунктирными) стрелками, поступает на пункты управления с задержкой после третичной обработки на соответствующих уровнях иерархической системы. К моменту ее прихода обработка данных от АСООИ на этих пунктах управления уже осуществится, им может быть присвоен соответствующий номер и по ним может быть принято решение (например, сформированы соответствующие команды оповещения, целераспределения или целеуказания). При получении РЛИ от иерархической системы (подчиненных, взаимодействующих ПУ и т.п.) с задержкой по времени она объединяется с информацией от АСООИ на КСА ПУ.

Иными словами, через АСООИ информация поступает на КСА всех уровней одновременно. Комплексы средств автоматизации в процессе обработки уточняют, детализируют, присваивают соответствующие номера, выдают команды на пункты управления родов войск или пункты управления воздушным движением. Но самое главное, РЛИ о конкретном воздушном объекте уже будет у всех потребителей. В случае необходимости, эту информацию можно уточнить с любого ПУ. При нарушениях обмена РЛИ и выходе из строя промежуточного элемента информация не прервется, не потеряется, а будет доставлена всем потребителям за счет сетевой структуры и алгоритмов функционирования АСООИ. Время доставки РЛИ потребителям при таком построении системы будет состоять только из времени обработки и времени принятия решения на одном уровне. То есть система сбора и обработки в отношении информации от источников (но не в отношении информации управления) становится одноуровневой, обработка происходит при вводе-выводе в АСООИ и на всех КСА одновременно. Далее обмен РЛИ после третичной обра-

ботки не имеет большого значения, так как все управленческие решения уже приняты и переданы через АСООИ потребителям (подчиненным, вышестоящим, взаимодействующим) по прямым логическим каналам передачи данных. Это проявление нового синергетического свойства в комбинированной структуре АСУ. Сам эффект для краткости получил название «синхронизация АСУ по информации».

Одним из свойств сетецентричности является обеспечение высокой ситуационной осведомленности потребителей. Это свойство реализуется подключением к терминалам АСООИ без подключения к КСА. Шлюзы обеспечивают конвертацию протоколов, а структурное построение АСООИ обеспечивает доставку РЛИ потребителям практически без задержек. Выдача команд управления для потребителей, не подключенных к КСА, будет представлять собой определенную трудность. Без доработки программного обеспечения (ПО) КСА решение может состоять в установлении процедуры «регистрации» новых потребителей в АСООИ с использованием дополнительных (резервных) выходов КСА. Необходимо подчеркнуть, что «ситуационная осведомленность» предоставляется только разрешенным к подключению в сеть потребителям и только по определенному для каждого из них объему информации.

Разработка терминалов, включающих серверы и совмещенные с ними шлюзы сопряжения с существующими РЛС и КСА для обмена речевой и телекодированной информацией, является актуальной задачей по созданию «дейтацентрических» [57] объектов с точки зрения информационной структуры. Решение этой задачи является необходимым условием перевода всего многообразия протоколов в единый протокол обмена РЛИ в сетевой структуре и обратное преобразование для функционирования существующих КСА, а целью её является получение возможности применения существующих средств управления в новой сетецентрической структуре.

На основе феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями можно построить структурную схему комбинированной информационной системы контроля воздушного пространства (рис. 2.15).

Разработанная схема подключения серверов в сетевую информационную систему обеспечивает ситуационную осведомленность, так как при её реализации информацию о воздушной обстановке могут получать все заинтересованные потребители, подключенные к сетевой структуре [89]. Особенности подключения источников и потребителей к АСООИ учтены в дальнейшем при разработке частных вариантов обработки РЛИ на серверах АСООИ.

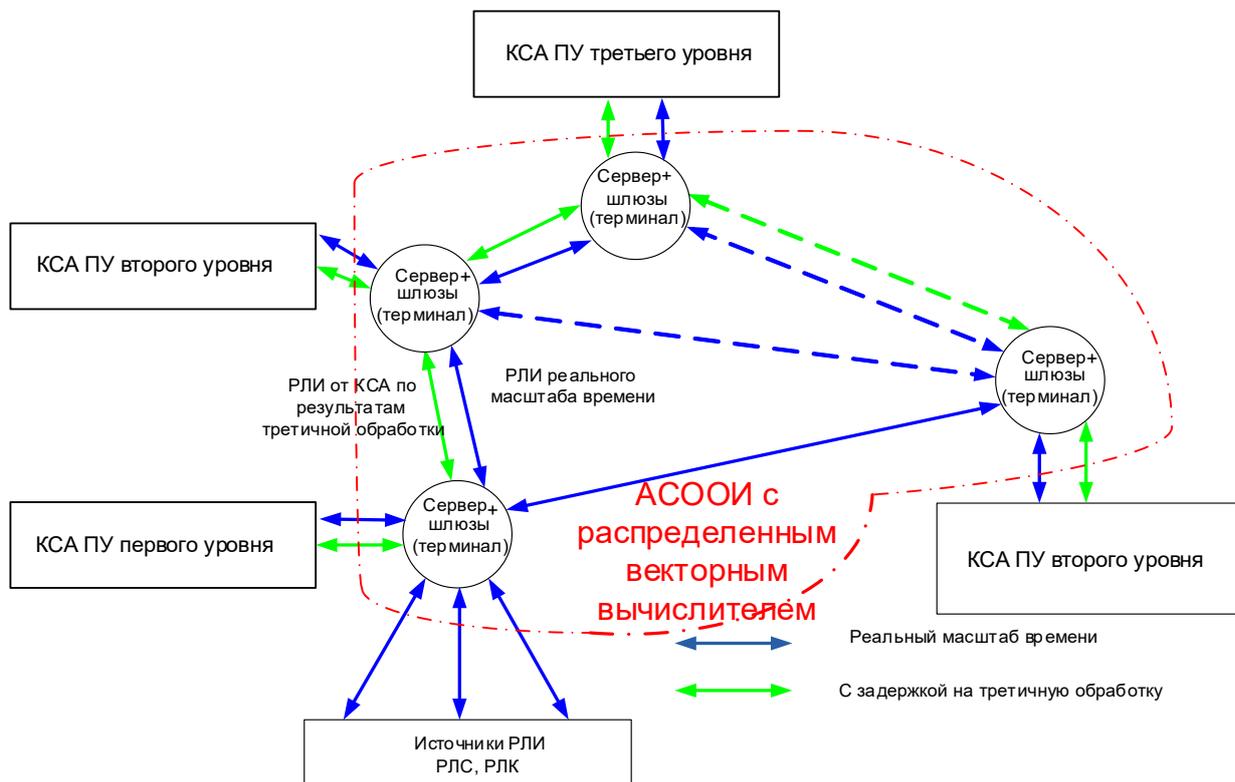


Рисунок 2.15. – Структурная схема комбинированной информационной системы контроля воздушного пространства

В развитие логики построения сетевую информационную систему рассмотрим вариант структурной схемы, в котором нет КСА в современном понимании (рис. 2.16). Обработка РЛИ и обмен информацией управления производится с помощью комплексов средств управления и отображения информации, находящихся на пунктах управления. Часть функций обработки РЛИ передана в сетевую структуру – АСООИ. Обмен информацией управления по-прежнему производится в логической иерархической структуре, технически и программно реализованной на основе сети. Обмен РЛИ происходит в сетевой структуре. Признаки управления

информацией присваиваются информации, проходящей через комплексы управления и отображения после процедуры принятия решения. В этой структуре нет многоступенчатого прохождения информации через узлы иерархической структуры. Однородная сетевая структура АСООИ позволяет придать ей свойства самоорганизации и самовосстановления. В таком варианте представления феноменологическая модель с распределенным векторным вычислителем представлена наиболее полно.

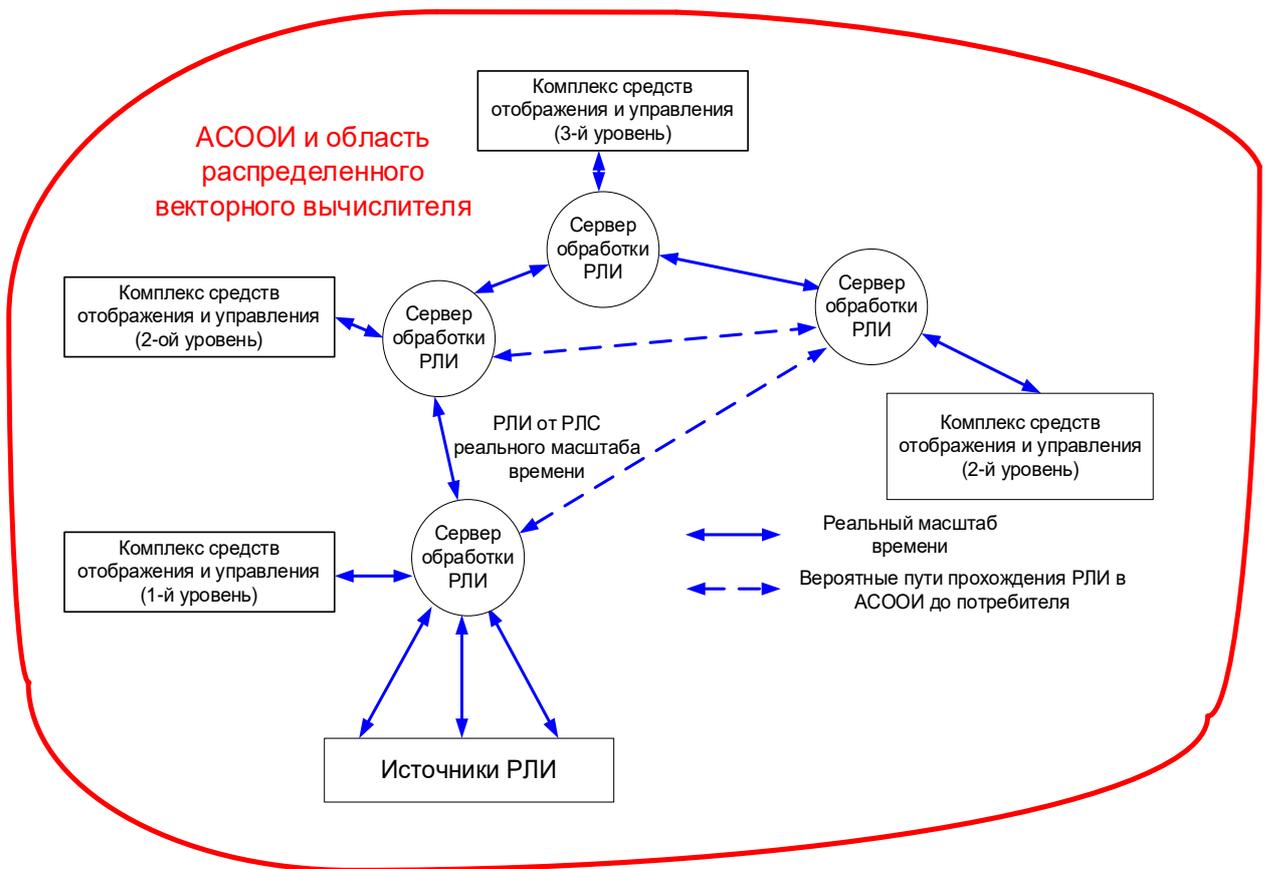


Рисунок 2.16 – Структурная схема обмена РЛИ в перспективной информационной системе сетевой структуры

Функции обработки РЛИ реализуются в сетевой структуре, а в органах управления находятся средства управления (принятия решения) и отображения. Управление производится как разведывательными и боевыми, так и информационными средствами и ресурсами.

Развивая далее логически сетевую структуру построения информационной

системы, можно представить её, как показано на рисунке 2.17.

Перспективная система включает органы управления, средства разведки и средства поражения, объединенные сетевой информационной структурой, роль которой в нашем случае выполняет АСООИ. Примерно так же построена структурная схема обмена информацией в противоракетной системе «Иджис» [58].



Рисунок 2.17 – Обобщенная структурная схема обмена РЛИ в сетевидной информационной системе

Примечателен тот факт, что вследствие малых задержек по времени при передаче информации от одних составных частей системы «Иджис» другим, применение подобной структуры допускает исключение этапов повторной идентификации (опознавания) целей. Это приводит к ещё большему сокращению длительности цикла боевого управления, то есть проявляется синергетический эффект от применения структуры нового типа.

Выводы по разделу 2

1. На основе метода сквозного синтеза разработана структура исследования. Одним из основных этапов является этап синтеза общего решения, на котором методом структурно-параметрического синтеза определена последовательность решения задачи построения информационной системы сетевой структуры.

2. В результате анализа уровней и структур построения информационных систем определен уровень и введена новая система – автоматизированная система обработки и обмена информацией (АСОИИ), как подсистема АСУ. Определены функции новой системы и свойства, необходимые для её функционирования.

3. Основой информационной системы сетевой структуры являются серверы, на которых размещается программное обеспечение, осуществляющее сбор, обработку и обмен РЛИ. Для реализации ПО необходима разработка алгоритмов объединения РЛИ при вводе в систему и при реализации обмена РЛИ в системе с использованием эвристического метода синтеза с оптимизацией по дополнительному критерию.

4. На основе феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями разработана «комбинированная» схема подключения вновь введенной подсистемы АСОИИ к существующей системе автоматизированного управления иерархической структуры.

5. Важным условием функционирования новой перспективной информационной системы сетевой структуры является перенос функций обработки радиолокационной информации от узлов иерархической системы непосредственно в саму систему

6. Разработана схема системы автоматизированного управления для обеспечения сбора, обработки и обмена РЛИ с новыми свойствами – свойствами сетевой структуры. Эти свойства способны обеспечить существенное сокращение времени доставки РЛИ потребителям, ситуационную осведомленность всех потребителей, а также ряд синергетических эффектов. Схема подключения серверов в сетевую информационную структуру защищена патентом на полезную модель.

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

В главе 3 проведено обоснование и разработан метод обработки радиолокационной информации в информационной системе сетевой структуры, как составной части 3-го этапа метода сквозного синтеза [72, 73, 74, 78, 82, 88, 90, 146, 164, 168, 170, 171, 172]. Для разработанного метода проведена оценка вероятности правильного объединения информации, показано решение обратной задачи – вычисление стробов точного отбора.

3.1 Анализ метода традиционной третичной обработки РЛИ [72]

Третичная обработка в иерархической структуре с точки зрения построения алгоритма и временных задержек

Рассмотрим временные задержки при сборе и обработке РЛИ в одном узле информационной структуры с использованием традиционного алгоритма третичной обработки, представленного в [125], более подробно.

В соответствии с классификацией, предложенной в [49], алгоритм объединения информации от пространственно разнесенных некогерентных радиолокационных источников, известный как третичная обработка [125], основан на «группе схем ветвящихся решений».

Алгоритм выбора решений в такой группе следующий: после получения сигнала вырабатывается несколько вероятных решений, которые, кроме одного действующего, признаются гипотетическими. Получение следующего сигнала генерирует новую группу возможных решений. Каждое из предыдущих решений используется для последующих в качестве априорной информации. Этот алгоритм создает несколько вариантов непрерывно возрастающего числа гипотез, которые требуют проверки.

Чтобы ограничить возрастание гипотез, принимают определенные меры по отсечению ветвей решений, что связано с потерями информации, потому что эта процедура является на самом деле принятием априорного решения [49].

В [49] отмечается, что указанная группа схем обработки дает удовлетворительные, а иногда и хорошие результаты, в том случае, если расстояние между воздушными объектами намного превышает ошибки измерений, которые, в свою очередь, проэкстраполированы на интервал времени между двумя измерениями.

Ветвящиеся алгоритмы либо не обеспечивают сходимости, либо оказываются неэффективными в случае, если воздушные объекты располагаются достаточно плотно [49]. Тем не менее, эта группа схем обработки информации широко распространена в существующих информационных системах, поскольку обеспечивает наибольшую экономию средств обработки.

В указанных группах схем, по сравнению с потенциальными возможностями системы, снижаются все показатели качества, степень этого снижения зависит от вида распределения целей и от модели ошибок. Недостатки схем этой группы выразятся наиболее очевидно в случае интенсивного информационного потока, что является серьезным недостатком систем, к которым предъявляются требования по регистрации точного числа воздушных объектов с одновременным требованием обеспечения высокой точности определения их координат в реальном масштабе времени. По мнению авторов [46, 49], поэтому такие алгоритмы мало применимы для систем, которые должны одновременно иметь высокую пропускную способность и малое время нахождения информации в информационной системе. Отдельно отметим, что высокая пропускная способность и малое время нахождения информации в системе отнюдь не идентичны, если имеются задержки при обработке информации в узлах систем любой структуры.

Алгоритм традиционной третичной обработки [125] представляет собой наглядный пример алгоритма из «группы схем ветвящихся решений». Блок-схема упрощенного варианта алгоритма представлена на рисунке 3.1. Рассмотрим основные особенности этого алгоритма с точки зрения построения алгоритма и временных задержек.

Одной из особенностей организации вычислений при третичной обработке является цикличность обработки и буферизация РЛИ, поступающей от источников. Время буферизации и время цикла третичной обработки не являются постоянными,

их величина зависит от количества и качества информации, пришедшей от источников. Эти параметры могут значительно увеличиваться при информационной перегрузке системы, недостаточном качестве РЛИ, при перезапуске ЭВМ источников РЛИ и ряде других случаев.



Рисунок 3.1 – Этапы третичной обработки РЛИ

Обработка РЛИ в каждом узле существующей иерархической структуры приводит к увеличению ее задержек, накоплению погрешностей пересчетов, и, как следствие к ухудшению её качества.

«Ветвящиеся решения» начинаются на этапе грубого отождествления, на котором рассматриваются в общем случае несколько групп сообщений, с высокой вероятностью принадлежащих к определенным траекториям воздушных объектов. Допущение одновременного присутствия в алгоритме обработки нескольких групп

сообщений соответствуют принятию в обработку сообщений, находившихся в буфере. Это означает, что разное время нахождения в буфере соответствует разным величинам ошибок экстраполяции и соответственно приводит только к эмпирическому определению величины строга при объединении и не может удовлетворять точному теоретическому обоснованию вероятности объединения РЛИ. И это признается автором алгоритма в [125, с. 424] при приведении математических выражений для условной вероятности отождествления:

$$P(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{cmp} \Delta S = 0) = \int_{-\infty}^{\infty} w(U_i) \left[\int_{U_i - \Delta U_{cmp}}^{U_i + \Delta U_{cmp}} w(\Delta U_{ir}) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (3.1)$$

$$P(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{cmp} \Delta S \neq 0) = \int_{-\infty}^{\infty} w(U_i) \left[\int_{U_i - \Delta U_{cmp}}^{U_i + \Delta U_{cmp}} w(\Delta U_{ir} + \Delta S) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (3.2)$$

где ΔU_{cmp} – размеры строга вокруг отметки от i -го источника; ΔU_{ir} – расстояние между отметками от i -го и r -го источников при условии, что отметки принадлежат одному и тому же объекту, при этом $\Delta S=0$, или если объекты разные и расстояние между объектами $\Delta S \neq 0$, w – функция плотности распределения вероятности отождествления.

В простейшем частном варианте отождествления по одной координате x и нормальному закону распределения наблюдаемых значений x выражения (3.1, 3.2) в соответствии с [125] будут иметь вид:

$$P(\Delta x_{ir} \leq \Delta x_{cmp} | \Delta S_x = 0) = \frac{1}{2\pi\sigma_i\sigma_r} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{x_i^2}{2\pi\sigma_i^2}\right) \left\{ \int_{x_i - \Delta x_{cmp}}^{x_i + \Delta x_{cmp}} \exp\left(-\frac{\Delta x_{ir}^2}{2\pi\sigma_r^2}\right) d\Delta x_{ir} \right\} dx_i, \quad (3.3)$$

$$P(\Delta x_{ir} \leq \Delta x_{cmp} | \Delta S_x \neq 0) = \frac{1}{2\pi\sigma_i\sigma_r} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{x_i^2}{2\pi\sigma_i^2}\right) \left\{ \int_{x_i - \Delta x_{cmp}}^{x_i + \Delta x_{cmp}} \exp\left(-\frac{(\Delta x_{ir}^2 + \Delta S_x)^2}{2\pi\sigma_r^2}\right) d\Delta x_{ir} \right\} dx_i. \quad (3.4)$$

Формулы (3.1-3.4) выполняются, если имеются сообщения по одному или двум воздушным объектам от двух источников, при этом полностью отсутствуют

другие сообщения [125, с.423]. Информация об отличии или сходстве этих двух объектов является априорным условием. В практической деятельности такую информацию априорно получить нельзя. Только в процессе выполнения процедуры отождествления можно ответить на вопрос о принадлежности отметок о сообщениях от разных источников: принадлежат они одному и тому же или разным объектам, и если принадлежат, то с какой вероятностью. Кроме того, там же, в [125, с.424], показано, что размеры оптимального строга мало зависят от дисперсий ошибок оценки параметров σ_i^2 и σ_r^2 и при оптимальных размерах строга вероятность правильного отождествления быстро увеличивается при увеличении ΔS_x . Это означает, что строг в данном алгоритме подбирается эмпирическим способом, что увеличивает его размеры и в последующем приводит к увеличению количества попарных сравнений при точном отождествлении (на следующем этапе алгоритма, рис. 3.1), и соответственно, к задержкам при обработке и ухудшению достоверности информации.

Ветвящиеся решения, присутствующие в алгоритме третичной обработки в одном узле, также возникают на уровне иерархической структуры в целом, когда на вероятность отождествления (размер строга точного отбора) и на время нахождения информации в системе при прохождении информации по всем уровням иерархии (по «стволу») в рамках одного временного цикла обработки влияют ошибки пересчетов координат, ошибки экстраполяции, задержки времени на уточнение данных и управления источниками и т.п. Поэтому с течением времени условия для выражений вероятности отождествления (3.1-3.4) и после прохождения нескольких уровней и узлов системы изменятся, и они станут некорректными. Собственно, именно введение условий для выражений (3.1-3.4) и определяет границы применения, достоинства и недостатки принятой схемы информационной системы иерархической структуры с традиционным алгоритмом третичной обработки.

Из приведенных примеров видно, что на этапе сбора и обработки РЛИ на первом уровне информационной системы (источник – узел информационной системы) должны выполняться два условия:

- отсутствие ветвящихся решений в алгоритме обработки РЛИ, т.е. в алгоритме должно обрабатываться и выдаваться далее в систему только одно сообщение, и только после этого алгоритм приступает к обработке следующего сообщения;
- полное отсутствие какого-либо буфера сообщений, т.е. наличие высокоскоростных каналов передачи РЛИ от источников к узлам обработки информационной системы первого уровня.

Далее рассмотрим, каким образом (в общем виде) организован информационный обмен в иерархической структуре после первого уровня. Каждому уровню в такой структуре присущ определенный объем управленческих решений. Информация после каждого уровня обработки и воздействия имеет специфические отличительные признаки и адресатов, и не может быть использована произвольным уровнем и произвольным адресатом иерархической системы.

Это означает, что применение сети в такой системе приведет к умножению очень похожей информации, но которая предназначена строго определенным адресатам и уровням, имеет разные, изменяющиеся от динамической обстановки задержки. Да, можно говорить о методах инкапсуляции обмена информацией между узлами, но такую избыточную во много раз информацию необходимо переупаковывать на каждом узле с учетом адресатов и временных задержек. Кроме того, необходимо предусмотреть алгоритмы самовосстановления такой одноранговой в физическом смысле, но многоуровневой в логическом смысле сети в случаях нарушения прохождения информации.

Основные требования к обмену информации в перспективной сетевой информационной структуре

Теоретически задача обеспечения обмена информации в иерархической структуре сетевыми методами имеет решение, но, по мнению автора, оно слабо связано с реалиями – это высокопроизводительная сеть с одинаковым и сложным специальным программным обеспечением (СПО) и маршрутизаторами в каждом узле структуры, то есть в каждом комплексе средств автоматизации (КСА), с очень

малыми временными задержками при информационных нагрузках, близких к максимальным. Функционирование такой сети должно обеспечиваться одновременно с осуществлением традиционного управления источниками и подчиненными узлами сети, решением большого количества задач реального времени. Вопрос и в реализации (высокие требования и к сети, и к вычислительной мощности компьютеров и маршрутизаторов сети), а самое главное, в множественности информационных и временных коллизий, которая и не позволяет в настоящее время создать быстродействующую одноранговую сеть с логическими уровнями иерархической структуры.

Из вышесказанного вытекают следующие требования уже к обмену РЛИ в информационной системе сетевого типа:

- должна быть реализована одноранговая полносвязная сетевая структура, как самый быстрый способ организации доставки информации всем абонентам сети;
- физическая и логическая структуры информационной системы должны совпадать, то есть многоуровневость необходимо устранить, как и адресацию только конкретным абонентам сети (подавляющий объем РЛИ должен иметь одинаковую структуру (протокол) и быть «понятен» любому подключенному к ней адресату);
- специальное программное обеспечение должно быть размещено на обычных по вычислительной мощности компьютерах;
- скорость передачи данных в сети должна быть такой, чтобы задержка информации в системе при максимальной информационной нагрузке была примерно равна обычной при передаче речи в цифровом виде (30-40 мс и 300 мс при использовании спутниковых каналов передачи данных), и намного, не менее чем на порядок, превышала задержку при сборе и обработке РЛИ;
- информационная система должна включать алгоритмы более высокого, чем алгоритм объединения РЛИ, – алгоритмы системного уровня, удаляющие уста-

ревшую информацию, не допускающие информационных «петель», широковещательного шторма, имеющие возможности автоматической оптимизации маршрутов и самовосстановления при повреждениях сети.

Отдельно отметим требование совместимости с уже существующими информационными средствами сбора и обработки РЛИ. Это требование означает, что любые источники и потребители РЛИ могут быть подключены в информационную систему через определенные шлюзы, которые обеспечивают конвертацию протоколов и должны быть совмещены с узлами информационной системы сетевой структуры.

3.2 Метод сетевой обработки РЛИ

Комплексный подход к анализу построения существующих информационных систем, включающий математическую, алгоритмическую, онтологическую и гносеологическую составляющие, показанный в [72], предполагает в качестве основного критерия при построении информационной системы сетевого типа принять время нахождения радиолокационной информации (РЛИ) в информационной системе. Результатом такого анализа явился перечень требований к перспективным информационным системам сетевой структуры, который включает [72]:

- построение алгоритма сетевой обработки, предназначенного для объединения РЛИ в информационных системах сетевой структуры;
- сочетание алгоритма сетевой обработки, свойств сетевой структуры информационной системы с последующим обменом информацией в сети и построение алгоритмов более высокого уровня для организации этого обмена.

Рассмотрим один из вариантов реализации первого требования. В предыдущем подразделе, а также в [49, 72] отмечалось, что основной особенностью существующего алгоритма третичной обработки является его принадлежность к «группе ветвящихся решений». Для этой группы разветвление алгоритма на обработку нескольких групп сообщений требует дополнительного вычислительного ресурса и при наличии определенного количества сообщений приводит к переменной временной задержке при обработке. Из этих рассуждений делается вывод, что для

уменьшения этой задержки необходим алгоритм, в котором число ветвей сведено к минимуму и каждое сообщение обрабатывается от момента поступления до момента выдачи в информационную систему после объединения без прерываний на обработку других сообщений.

Примером такого способа обработки и реализованного на его основе алгоритма может служить способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления, разработанный в [90]. Основные этапы обработки РЛИ в соответствии с ним показаны на блок-схеме алгоритма сетевой обработки (рис. 3.2).

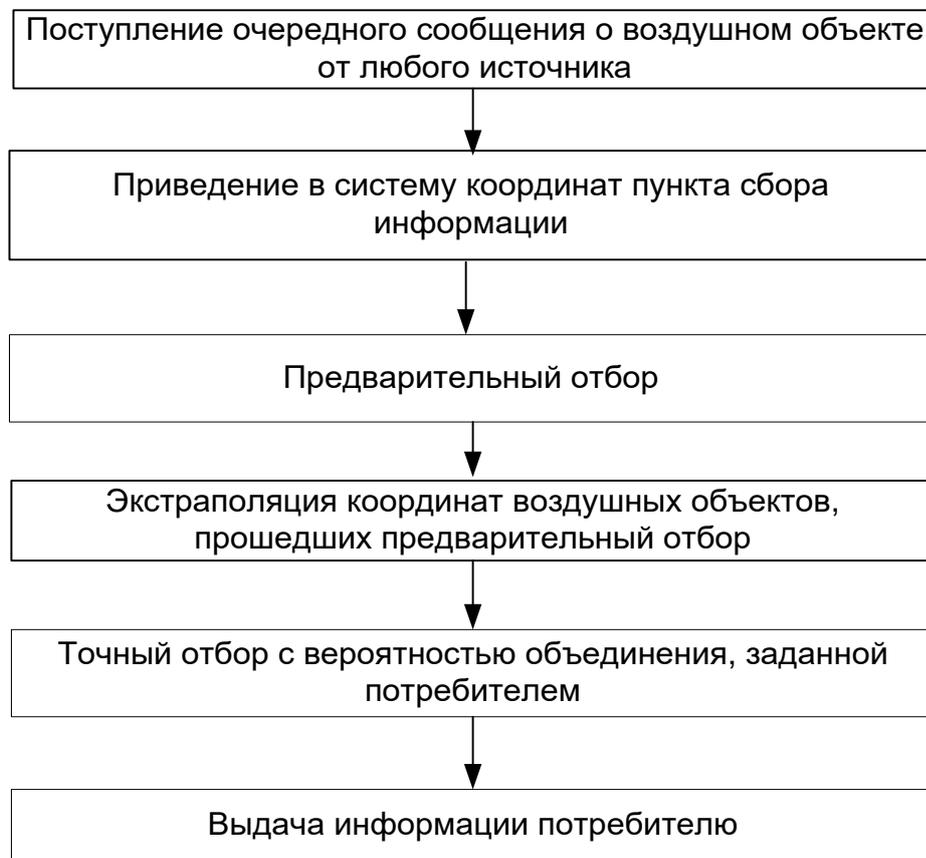


Рисунок 3.2 – Этапы метода сетевой обработки РЛИ

Основными особенностями алгоритма являются:

– одновременно обрабатывается только одно сообщение, от начала до конца алгоритма. Окончанием алгоритма является выдача обработанного сообщения потребителю или в сеть. Командой для начала выполнения алгоритма является факт

поступления сообщения от любого источника на пункт сбора и обработки информации;

– предварительный отбор и последующая экстраполяция проводятся по одному, только что поступившему сообщению. Объекты для сравнения и экстраполяции берутся из массива уже обработанных ранее сообщений (полностью прошедших алгоритм обработки и объединения).

В традиционном алгоритме третичной обработки [125] экстраполяция проводится перед этапом грубого отождествления и возможна для нескольких сообщений (трасс воздушных объектов). Это означает, что алгоритм изначально предполагает присутствие ветвящихся решений, а также поступление информации о воздушных объектах из некоторого буфера сообщений, то есть с возможной задержкой.

Если полагать, что каналы передачи РЛИ от источников до пункта сбора и обработки информации являются высокоскоростными, а время обработки одного сообщения пренебрежимо мало по сравнению с периодом обновления РЛИ и по сравнению с задержкой при обмене в сети, то в алгоритме сетевой обработки при объединении РЛИ от разных источников экстраполяция поступившего сообщения не требуется.

Кроме того, из-за существенного уменьшения временных задержек при обработке появляется возможность более точного определения размеров стробов при объединении, нежели в работе [125].

Сравнение методов третичной и сетевой обработки по количеству обрабатываемых гипотез приводит к следующему:

- метод совместной (третичной) обработки: после этапа экстраполяции количество обрабатываемых гипотез $N_{\text{гип}} = (M!)^{m-1}$ [190, с. 393], где M – количество сопровождаемых ВО, m – количество сообщений в стробе (количество РЛС минус 1);
- метод сетевой обработки на этапе точного отбора $N_{\text{гип}} = (m-1)$ (при предварительном отборе сравнение гипотез не производится).

Так, для трёх РЛС и 6-ти одновременно наблюдаемых ими воздушных объектов количество гипотез для метода совместной (третичной) обработки будет равно 518 400, для 10-ти ВО составляет $3,632 \times 10^9$, на этапе точного отождествления 2160 и $10,8864 \times 10^6$ соответственно.

Для разработанного метода количество гипотез на этапе точного отбора для трёх РЛС $N_{\text{гип}} \leq 2$ для каждого поступившего сообщения о воздушном объекте, то есть для 18 сообщений о 6-ти ВО общее количество гипотез будет равно 36, для 30 сообщений о ВО в случае 10-ти сопровождаемых трасс ВО тремя РЛС – 60. Все сообщения обрабатываются последовательно.

Изменение последовательности этапов и критериев алгоритма объединения информации при сетевой обработке по сравнению с третичной обработкой существенным образом влияет на скорость обработки при объединении РЛИ и в большей мере отвечает требованиям уменьшения времени на обработку информации, особенностям построения сетевой структуры и особенностям прохождения информации в ней, чем классическая третичная обработка, предназначенная для функционирования в иерархической структуре.

3.3 Синтез алгоритма сетевой обработки РЛИ на основе разработанного метода

Обработка РЛИ начинается при поступлении на сервер очередного сообщения от любого источника [88, 90]. Поступившее сообщение проходит этап приведения к системе координат сервера. После этого проводится предварительное стробирование (отбор) информации, уже имеющейся на сервере. Центром строба предварительного отбора являются координаты объекта, о котором поступила информация. После экстраполяции координат, прошедших предварительный отбор, проводится точный отбор и выдача информации потребителю.

В подразделе рассматриваются особенности объединения и обработки РЛИ, поступающей на узел сетевой структуры – сервер [88]. Сообщения об объектах могут содержать различные признаки, в том числе, пропадания информации и выхода

объекта из зоны обнаружения источников.

Определим исходные условия и допущения, используемые при разработке способов обработки РЛИ в автоматизированной системе обработки и обмена информацией. Наиболее значимыми из них являются:

1. Вторичная информация передается от РЛС на сервер в системе прямоугольных координат (x, y, z) формализованными сообщениями.
2. Значения ошибок координат объектов, поступающие в сообщениях на сервер от различных источников, есть случайные гауссовы дискретные величины.
3. В базе данных сервера имеется информация о среднеквадратических отклонениях (СКО) координат и составляющих скоростей объектов, координат источников, потребителей и сервера.

Последовательно получаемые в результате рассмотрения метода сетевой обработки выражения и выводы являются исходными данными для последующих этапов.

Для получения результатов сетевой обработки РЛИ будут использованы различные признаки, содержащиеся в сообщениях, например, признак сообщения о новом объекте, о ранее обнаруженном, об исправности канала передачи данных и другие.

Отдельно отметим, что предлагаемые алгоритмы обработки, способы построения массивов данных имеют определенную вариативность и имеют целью показать общие принципы сетевой обработки, которые соответствующим образом конкретизируются для выполнения задач, определенных заказчиками. Это существенное замечание относится и к построению автоматизированной системы обработки и обмена информацией в целом.

3.3.1 Приведение информации к единой системе координат

В общем случае РЛИ, поступающая от РЛС на сервер, может быть выдана потребителю:

- относительно точки стояния РЛС;
- относительно реперной (условной) точки;

– относительно точек стояния вышестоящего (обеспечиваемого) потребителя.

Пересчет координат выполняется на сервере. Для этого в базу данных сервера вводятся координаты источников РЛИ.

Данные, поступающие на сервер от РЛС, приводятся в местной прямоугольной топографической системе координат (МПТСК) относительно точек стояния РЛС.

Рассмотрим процедуру пересчета координат при использовании проекции Гаусса-Крюгера. Пересчет координат воздушных объектов X , Y и H относительно точек стояния РЛС и сервера, находящихся в одной зоне проекции Гаусса-Крюгера [118, 132], осуществляется следующим образом:

$$X_{ВзОС} = X_{ВзОРЛС} \pm \Delta X, \quad (3.5)$$

$$Y_{ВзОС} = Y_{ВзОРЛС} \pm \Delta Y, \quad (3.6)$$

$$H_{ВзОС} = H_{ВзОРЛС} \pm \Delta H. \quad (3.7)$$

Здесь: $\Delta X = X_{ТчкРЛС} - X_{ТчкС}$; $\Delta Y = Y_{ТчкРЛС} - Y_{ТчкС}$; $X(Y)_{ВзОС}$ – координаты воздушного объекта относительно точки стояния сервера; $X(Y)_{ВзОРЛС}$ – координаты объекта относительно точки стояния РЛС; $H_{ВзОС(РЛС)}$ – высота объекта, $\Delta H = H_{ТчкРЛС} - H_{ТчкС}$; $X(Y)_{ТчкС(РЛС)}$ – координаты точек стояния сервера (РЛС).

При нахождении точек стояния сервера и РЛС в разных зонах проекции Гаусса-Крюгера пересчет координат производится по таблицам [118] с использованием специальных программ или по формулам из [132]:

$$x_2 = X_0 + a\Delta x + b\Delta y^2 + c, \quad (3.8)$$

$$y_2 = \Delta y + a_1\Delta y + b_1\Delta y^2 + c_1. \quad (3.9)$$

В таблицах, приведенных в [118, 123, 132], по аргументу x_1 даны значения коэффициентов y_0, X_0, a, a_1, b, b_1 , а по аргументам x_1 и Δy – c и c_1 .

3.3.2 Предварительный отбор радиолокационной информации

Сообщение о воздушном объекте (ВО), поступившее на сервер и приведенное по содержащимся в нем координатам к точке стояния сервера, может быть об-

работано попарно с каждым ранее поступившим и обработанным на сервере сообщением от других источников РЛИ с целью проверки возможности объединения. Зона обработки РЛИ, поступающей на сервер, в общем случае совпадает с суммарной зоной обзора всех источников, подключенных к серверу, или с суммарной зоной обзора всех источников сетевой информационной системы. В этом случае количество сообщений о ВО для сравнения может быть очень большим, как и количество попарных операций сравнения. Поэтому для уменьшения и ограничения объемов вычислений при последующей обработке РЛИ проводится этап предварительного отбора. Для повышения вероятности отбора данных об одном и том же объекте учитываются среднеквадратические ошибки источников по координатам, времени обновления РЛИ и скорости объекта [90, 125].

Проведем предварительный отбор данных об объектах, поступающих от источников РЛИ на сервер, с учетом характеристик современных летательных аппаратов, тактико-технических характеристик РЛС, периодичности поступления (обновления) информации на сервер АСООИ, и особенностей обработки РЛИ на сервере. При третичной обработке похожая операция проводится периодически в цикле сбора и обработки РЛИ [125] и называется грубым отождествлением. Целью грубого отождествления является группирование сообщений об объектах от разных источников по принадлежности к определенным трассам. При сетевой обработке РЛИ периодичность отсутствует, так как обрабатывается каждое сообщение, поступившее на сервер [90], при этом центром строба предварительного отбора являются координаты объекта, данные о котором поступили на сервер. В строб предварительного отбора на сервере попадают неэкстраполированные сообщения от разных источников, ранее поступившие на сервер и уже прошедшие полный цикл алгоритма объединения.

В качестве исходных данных используем основные характеристики современных РЛС, а именно:

– среднеквадратические отклонения $\sigma_{x,y,H}$ по координатам x , y , H , и σ_{V_x,V_y,V_H} по составляющим скоростей $V_{x,y,H}$;

– время обновления информации $T_{\text{обн}}$.

Радиус строга R предварительного отбора в плоскости XOY определяется следующим образом:

$$R = (V_{\text{тек}} + \sigma_V)T_{\text{обн}} + \sigma, \quad (3.10)$$

где R – радиус строга предварительного отбора с учетом времени обновления информации и текущей скорости $V_{\text{тек}}$ полета объекта; σ, σ_V – СКО по дальности и скорости, рассчитываемые по ТТХ тех РЛС, которые выдают РЛИ на сервер в текущий момент времени, по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2}, \quad \sigma_V = \sqrt{\sigma_{V_1}^2 + \dots + \sigma_{V_n}^2}. \quad (3.11)$$

Здесь:

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_{nx}^2 + \sigma_{ny}^2 + \sigma_{nH}^2}, \quad \sigma_{Vn} = \sqrt{\sigma_{Vnx}^2 + \sigma_{Vny}^2 + \sigma_{VnH}^2}, \quad (3.12)$$

где n – порядковый номер РЛС, СКО которой необходимо учесть при определении размеров строга предварительного отбора, $\sigma_{nx,y,H}$ и $\sigma_{Vnx,y,H}$ – СКО координат и составляющих скоростей РЛС.

Строб предварительного отбора может быть адаптивным, так как зависит от текущей скорости объекта. Такой подход минимизирует количество сообщений о воздушных объектах в дальнейшей обработке, тем самым сокращается объем вычислений при объединении информации, и, следовательно, суммарное время обработки РЛИ.

3.3.3 Экстраполяция координат

Экстраполяция координат объектов проводится для приведения к единому моменту времени поступившей и хранящейся на сервере информации. Допустим, что объекты в течении цикла обновления информации двигаются прямолинейно и равномерно, как и в [125], независимо от признака маневра ВО, который может быть в сообщениях. Это предположение принимается для упрощения последующих расчетов и соответственно, уменьшения времени на обработку РЛИ. Признак

маневра ВО имеет значение для выбора размера строка точного отбора. Предположение о равномерности и прямолинейности движения при этом сохраняется.

Из результатов, полученных при анализе метода сетевой обработки [90], следует, что при обработке РЛИ на сервере для уменьшения времени обработки следует изменить последовательность этапов обработки РЛИ по сравнению с третичной [125]. Это приводит к введению этапа предварительного отбора. В связи с этим можно подчеркнуть, что последующая экстраполяция координат будет иметь следующие особенности:

- экстраполяция проводится с использованием данных только по одной точке измерений;

- так же, как и в [125], предполагается, что объекты движутся равномерно и прямолинейно;

- на сервер не поступает информация о способе сглаживания, способе экстраполяции траекторий воздушных объектов на РЛС и о соотношении сигнал/шум. При обнаружении маневра в сообщении появляется соответствующая отметка. Данные о виде маневра – по курсу или по скорости – в существующих сообщениях на сервер не сообщаются;

- период времени, когда может потребоваться выполнение экстраполяции, составляет не более одного периода обновления РЛИ на сервере от источника (обычно не более времени одного обзора РЛС);

- в соответствии с особенностями метода сетевой обработки РЛИ на сервере экстраполированные координаты, вычисленные при объединении один раз, в дальнейшем при обработке не используются. Этот вывод происходит из алгоритма сетевой обработки – при очередном поступлении сообщения от РЛС по тому же объекту и его участию в объединении, экстраполяция будет производиться без учета предыстории.

Известны несколько методов экстраполяции [124, 125, 126, 131]. Рассмотрим экстраполяцию по курсу и скорости, оптимальную линейную фильтрацию и оптимальную рекуррентную фильтрацию (фильтр Калмана) и возможность их использования с учетом сформулированных выше особенностей.

В работе [124] приведен способ экстраполяции координат с использованием параметров курса Q_n и скорости цели V_n . Имея значения курса и скорости, координаты экстраполированного положения цели x_{n+1}, y_{n+1} определяются по формулам:

$$l = (V_n + \frac{\Delta V_n}{2} T_0) T_0, \quad (3.13)$$

$$x_{n+1} = x_э = x_n + l \sin(Q_n + \Delta Q_n), \quad (3.14)$$

$$y_{n+1} = y_э = y_n + l \cos(Q_n + \Delta Q_n), \quad (3.15)$$

где l – расстояние, которое пролетит воздушный объект за время экстраполяции T_0 , ΔQ_n – изменение направления курса.

В [124] отмечается, что для повышения точности экстраполяции применяется сглаживание параметров. Отметим, что это сглаживание производится в РЛС перед выдачей сообщений на сервер.

Существуют также способы экстраполяции объекта по нескольким отметкам, не использующие расчета курса и полной скорости. Например, в [131] выражение для экстраполированной координаты X представляется в виде:

$$X_э = \sum_{i=1}^n \eta_i X_i, \quad (3.16)$$

где n – число отметок (обзоров), используемых для экстраполяции, η_i – весовой коэффициент i -й отметки (весовая функция), i – порядковый номер отметки. Если предположить, что воздушный объект маневрирует, то на ограниченном интервале экстраполяции его траектории можно представить полиномом второй степени. В этом случае при экстраполяции на один период обзора весовая функция имеет вид [125, с.232]:

$$\eta_{x_э}(i) = \frac{3[(n+2)(n+3) - 2i(4n+7) + 10i^2]}{n(n-1)(n-2)}. \quad (3.17)$$

В [124] приводится вариант расчета экстраполированных значений координат для линейной траектории в виде:

$$x_{n+1} = \bar{x}_n + \Delta \bar{x}_n, \quad (3.18)$$

$$y_{n+1} = \bar{y}_n + \Delta \bar{y}_n, \quad (3.19)$$

где x_{n+1}, y_{n+1} – экстраполированные координаты; \bar{x}_n, \bar{y}_n – сглаженные координаты (сглаживание производится на РЛС при вторичной обработке); $\Delta \bar{x}_n, \Delta \bar{y}_n$ –

приращения сглаженных координат. Эти приращения рассчитываются по формулам:

$$\Delta \bar{x}_n = \bar{V}_{x_n} T_0, \quad (3.20)$$

$$\Delta \bar{y}_n = \bar{V}_{y_n} T_0, \quad (3.21)$$

где $\bar{V}_{x_n}, \bar{V}_{y_n}$ – сглаженные значения составляющих скоростей по данным от РЛС; T_0 – промежуток времени, на который экстраполируются данные.

Необходимо также отметить, что сообщение и данные, находящиеся в экстраполируемом сообщении на сервере, ранее прошли цикл алгоритма объединения и выданы потребителю. Экстраполяция требуется для объединения с сообщением, пришедшим на сервер позже. Поэтому экстраполированным данным не требуется перевод в полярные координаты для последующего стробирования [124]. Признак маневра, имеющийся в сообщении, с учетом принятых допущений о равномерном и прямолинейном движении в последующем повлияет на размер строба объединения при точном отборе.

Рассмотрим подробнее экстраполяцию с использованием расширенного фильтра Калмана. Уравнения фильтра представлены в следующем виде [126]:

$$\hat{\mathbf{g}}_{n|n-1} = \Phi_n \hat{\mathbf{g}}_{n|n-1} + \mathbf{u}_n = f_n(\hat{\mathbf{g}}_{n-1}), \quad (3.22)$$

$$\Psi_{n|n-1} = \Phi_n \Psi_{n-1} \Phi_n^T + \mathbf{B}_n \mathbf{Q}_n \mathbf{B}_n^T, \quad (3.23)$$

$$\mathbf{Q}_n = M[\boldsymbol{\eta}_n \boldsymbol{\eta}_n^T], \quad (3.24)$$

$$\Psi_n = \Psi_{n|n-1} - \Psi_{n|n-1} \mathbf{H}_n^T (\mathbf{H}_n \Psi_{n|n-1} \mathbf{H}_n^T + \mathbf{R}_n)^{-1} \mathbf{H}_n \Psi_{n|n-1}, \quad (3.25)$$

$$\mathbf{K}_n = \Psi_n \mathbf{H}_n^T \mathbf{R}_n^{-1}, \quad (3.26)$$

$$\hat{\mathbf{g}}_n = \hat{\mathbf{g}}_{n|n-1} + \mathbf{K}_n (\mathbf{Y}_n - \mathbf{h}_n(\hat{\mathbf{g}}_{n|n-1})), \quad (3.27)$$

где $\hat{\mathbf{g}}_{n-1}$ – вектор параметров траектории цели на момент $(n-1)$ -го наблюдения; $\hat{\mathbf{g}}_{n|n-1}$ – вектор экстраполированных значений параметров траектории цели на момент n -го наблюдения; Φ_n – переходная матрица; \mathbf{u}_n – вектор управления (управляющих воздействий); Ψ_n, Ψ_{n-1} – матрицы ошибок на момент n -го и $(n-1)$ -го наблюдения, соответственно; $\Psi_{n|n-1}$ – корреляционная матрица ошибок экстраполяции; \mathbf{B}_n – матрица управления, которая прикладывается к вектору управления

$\mathbf{u}_n; \mathbf{Q}_n$ – ковариационная матрица, описывающая случайный характер процесса; $\boldsymbol{\eta}_n$ – вектор, характеризующий возмущения параметров траектории; \mathbf{K}_n – коэффициент усиления фильтра; \mathbf{H}_n – матрица пересчета координат между наблюдаемыми и оцениваемыми параметрами; \mathbf{R}_n – корреляционная матрица ошибок измерения; \mathbf{Y}_n – матрица измеряемых координат на n -м шаге наблюдения; \mathbf{h}_n – оператор, устанавливающий связь между наблюдаемыми координатами и оцениваемыми параметрами траектории.

Здесь же, в работе [126], приведены уравнения квазиоптимального варианта расширенного фильтра Калмана в предположении, что траектория является линейной функцией в прямоугольных координатах (x, y) при $\boldsymbol{\eta}_n = 0$. С учетом особенностей функционирования сервера, а именно: допущении о прямолинейности и равномерности траектории движения объекта и наличия только одной отметки для экстраполяции, выражения, описывающие работу фильтра Калмана, можно представить следующим образом:

– для этапа экстраполяции (в предположении, что все координаты и их производные независимы):

$$\hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{n|n-1} = \boldsymbol{\Phi}_n \hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{n-1}, \quad (3.28)$$

где

$$\boldsymbol{\Phi}_n = \begin{vmatrix} 0 & T_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.29)$$

$$\hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{n-1}^T = \|\hat{x}_{n-1} \quad \hat{V}_{x_{n-1}} \quad \hat{y}_{n-1} \quad \hat{V}_{y_{n-1}}\|, \quad (3.30)$$

$$\boldsymbol{\Psi}_{n|n-1} = \boldsymbol{\Phi}_n \boldsymbol{\Psi}_{n-1} \boldsymbol{\Phi}_n^T, \quad (3.31)$$

где

$$\boldsymbol{\Psi}_{n-1} = \mathbf{I} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad (3.32)$$

– для этапа коррекции:

$$\mathbf{K}_n = \boldsymbol{\Psi}_n \mathbf{H}_n^T \mathbf{R}_n^{-1} \quad (3.33)$$

$$\hat{\boldsymbol{\vartheta}}_n = \hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{n|n-1} + \mathbf{K}_n (\mathbf{Y}_n - \hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{n|n-1}), \quad (3.34)$$

где

$$\mathbf{Y}_n^T = \|\hat{x}_n \quad \hat{V}_{x_n} \quad \hat{y}_n \quad \hat{V}_{y_n}\|, \quad \boldsymbol{\Psi}_{n-1} = \boldsymbol{\Psi}_n, \quad (3.35)$$

$$\mathbf{R}_n = \begin{Bmatrix} \sigma_{x_n}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_n}^2 \end{Bmatrix}, \quad (3.36)$$

$\mathbf{H}_n = \mathbf{I}$, так как пересчет наблюдаемых и экстраполированных параметров не производится и их число одинаково;

$$\mathbf{K}_n = \Psi_n \begin{Bmatrix} \frac{1}{\sigma_{x_n}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{y_n}^2} \end{Bmatrix}. \quad (3.37)$$

После подстановки Ψ_n и $\hat{\mathfrak{D}}_{n|n-1}$ в выражение для $\hat{\mathfrak{D}}_n$ получим:

$$\hat{\mathfrak{D}}_n = \hat{\mathfrak{D}}_{n|n-1} + \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \mathbf{I} \begin{Bmatrix} \frac{1}{\sigma_{x_n}^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{\hat{V}_{x_n}}^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{y_n}^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\hat{V}_{y_n}}^2} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{x}_n - \hat{x}_{n|n-1} \\ \hat{V}_{x_n} - \hat{V}_{x_{n|n-1}} \\ \hat{y}_n - \hat{y}_{n|n-1} \\ \hat{V}_{y_n} - \hat{V}_{y_{n|n-1}} \end{Bmatrix}. \quad (3.38)$$

В [126] отмечается, что представленные способы экстраполяции работают более эффективно, если число наблюдений составляет от 3 до 6.

Учитывая, что особенности функционирования сервера не позволяют хранить значения наблюдаемых параметров, можно сделать выводы в отношении использования рассмотренных методов экстраполяции:

– для экстраполяции траекторий при объединении целесообразно использовать метод линейной экстраполяции, так как интервалы времени для экстраполяции малы (менее одного периода обзора, то есть не более 10 с);

– для экстраполяции при выдаче потребителю может быть применён вариант упрощенного квазиоптимального фильтра Калмана, так как потребителю могут понадобиться более длительные интервалы экстраполяции. В этом случае появляется возможность экстраполяции траектории по данным от нескольких источников и по результатам нескольких измерений.

Будем полагать, что время обработки одного сообщения на сервере значительно меньше времени, в течение которого накапливается значимая ошибка в пространственном положении ВО. За ориентир можно взять, например, цену младшего

разряда временной задержки протокола Asterix [194], составляющую 7,8 мс. Поэтому, с учетом вышесказанного, дополнительного этапа экстраполяции перед выдачей сообщения после обработки в АСООИ не требуется. Также будет учитываться, что полный цикл объединения проходят только сообщения об объекте с признаком нового сообщения, которые еще не поступали потребителю и не поступали в сетевую структуру от конкретного источника. Случай выхода из строя и восстановления линии передачи данных при получении и обработке сообщений о ранее обнаруженных объектах будет рассмотрен отдельно.

3.4 Объединение радиолокационной информации. Оценка вероятности правильного объединения РЛИ при сетевой обработке [72, 73, 74, 78, 82, 88, 90, 146, 164, 168, 170].

Объединение информации, поступающей от нескольких источников, является одним из основных этапов метода сетевой обработки [73, 78, 82, 88, 90].

В соответствии с исходными данными, допущениям и ограничениями, а также этапами метода сетевой обработки, в поступившем для обработки на сервер (узел информационной системы сетевой структуры) сообщении сначала выполняется пересчет координат, в систему координат сервера. Затем осуществляется этап предварительного отбора. После предварительного отбора сообщение поступает на этап объединения. Как следует из метода сетевой обработки, в алгоритме рассматривается только одно вновь поступившее на сервер сообщение, что исключает «ветвящиеся решения» и обработку нескольких трасс ВО на одном этапе алгоритма.

Предположим, на сервер последовательно поступили два сообщения от первого источника J_{11} и J_{21} (первое число индекса означает номер сообщения, второе — номер источника). В соответствии с этапами метода обработки РЛИ на сервере (рис. 2.9) они проходят этап пересчета координат. Объединение между сообщениями одного источника не проводится и эти сообщения выдаются в сеть. Затем в момент времени t_{12} на узел обработки поступает первое сообщение J_{12} от второго

источника. Предположим, что сообщения от первого источника J_{11} и J_{21} соответствуют критерию предварительного отбора, то есть попадают в строб предварительного отбора с центром координат, указанным в сообщении J_{12} от второго источника. Проведем экстраполяцию сообщений J_{11} и J_{21} на момент времени t_{12} поступления сообщения J_{12} от второго источника.

После экстраполяции осуществляется переход к этапу точного отбора сообщений. Сущность точного отбора состоит в том, что сообщения J_{11} , J_{21} подвергаются попарной проверке с пришедшим первым сообщением J_{12} от второго источника на предмет объединения, причем вероятность правильного объединения должна быть не ниже требуемой.

Проведем оценку вероятности правильного объединения сообщений от разных источников на этапе объединения [73, 74, 146, 164].

Полагаем, что ошибки измерения координат источников соответствуют нормальному закону. Тогда плотность распределения вероятности ошибок измерения координаты x_1 сообщений, поступающих от источника № 1, будет иметь вид [117]:

$$f_1(x_1) = \frac{1}{\sigma_{x_1}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right), \quad (3.39)$$

где σ_{x_1} – среднеквадратическое отклонение (СКО) измеренной координаты x_1 источником № 1 от истинного значения; \bar{x}_1 – математическое ожидание случайной величины (СВ) x_1 .

Аналогично для сообщений от источника № 2, плотность распределения вероятности ошибок измерения координаты x представляется в виде

$$f_2(x_2) = \frac{1}{\sigma_{x_2}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2}\right), \quad (3.40)$$

где σ_{x_2} – СКО измеренной координаты x_2 источником № 2 от истинного значения; \bar{x}_2 – математическое ожидание СВ x_2 .

Разность координат, как случайных величин, также является случайной величиной [117, с. 360]. Её плотность распределения вероятности, как модуля разности случайных величин $\Delta x = |x_1 - x_2|$, в соответствии с [134, с. 331] определяется выражением:

$$f(\Delta x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2(x_2)[f_1(x_2 + \Delta x) + f_1(x_2 - \Delta x)]dx_2. \quad (3.41)$$

Получим из выражения (3.41) сумму интегралов:

$$f(\Delta x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2(x_2)f_1(x_2 + \Delta x)dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} f_2(x_2)f_1(x_2 - \Delta x)dx_2. \quad (3.42)$$

После подстановки формул (3.39) и (3.40) в (3.42) получается выражение для плотности распределения вероятности случайной величины Δx :

$$f(\Delta x) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_2 + \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2}\right) \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_1 - \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right], \quad (3.43)$$

после преобразования получается следующее выражение

$$f(\Delta x) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_2 + \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 - \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right]. \quad (3.44)$$

Плотности распределения вероятности случайных величин Δy и Δz , соответственно, определяются выражениями:

$$f(\Delta y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_1}\sigma_{y_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_2 + \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 - \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 \right]; \quad (3.45)$$

$$f(\Delta z) = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_2 + \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 - \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 \right]. \quad (3.46)$$

Кроме данных о координатах, данные по составляющим скоростей объектов V_x, V_y, V_z также имеются в сообщениях. Если считать, что измеренные значения скоростей подчинены нормальному закону, то плотности распределения вероятности случайных величин модулей разности составляющих скоростей выражаются

также, как и плотности распределения случайных величин модулей разности координат:

$$f(\Delta V_x) = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{x_1}}\sigma_{V_{x_2}}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{x_2} - \bar{V}_{x_2})^2}{2\sigma_{V_{x_2}}^2} - \frac{(V_{x_2} - \bar{V}_{x_1} + \Delta V_x)^2}{2\sigma_{V_{x_1}}^2}\right) dV_{x_2} + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{x_2} - \bar{V}_{x_2})^2}{2\sigma_{V_{x_2}}^2} - \frac{(V_{x_2} - \bar{V}_{x_1} - \Delta V_x)^2}{2\sigma_{V_{x_1}}^2}\right) dV_{x_2} \right]; \quad (3.47)$$

$$f(\Delta V_y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{y_1}}\sigma_{V_{y_2}}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{y_2} - \bar{V}_{y_2})^2}{2\sigma_{V_{y_2}}^2} - \frac{(V_{y_2} - \bar{V}_{y_1} + \Delta V_y)^2}{2\sigma_{V_{y_1}}^2}\right) dV_{y_2} + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{y_2} - \bar{V}_{y_2})^2}{2\sigma_{V_{y_2}}^2} - \frac{(V_{y_2} - \bar{V}_{y_1} - \Delta V_y)^2}{2\sigma_{V_{y_1}}^2}\right) dV_{y_2} \right]; \quad (3.48)$$

$$f(\Delta V_z) = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{z_1}}\sigma_{V_{z_2}}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{z_2} - \bar{V}_{z_2})^2}{2\sigma_{V_{z_2}}^2} - \frac{(V_{z_2} - \bar{V}_{z_1} + \Delta V_z)^2}{2\sigma_{V_{z_1}}^2}\right) dV_{z_2} + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V_{z_2} - \bar{V}_{z_2})^2}{2\sigma_{V_{z_2}}^2} - \frac{(V_{z_2} - \bar{V}_{z_1} - \Delta V_z)^2}{2\sigma_{V_{z_1}}^2}\right) dV_{z_2} \right]; \quad (3.49)$$

В случае, если случайные величины не коррелированы, то их совместная плотность распределения равна произведению плотностей распределения каждой из случайных величин, как показано в [117]. Следовательно, для трехмерной плотности распределения трех случайных некоррелированных величин Δx , Δy , Δz справедливо выражение

$$f(\Delta x, \Delta y, \Delta z) = f(\Delta x)f(\Delta y)f(\Delta z). \quad (3.50)$$

Если учитывать модули разностей некоррелированных величин координат Δx , Δy , Δz и составляющих скоростей ΔV_x , ΔV_y , ΔV_z , то их многомерная плотность распределения будет иметь вид:

$$f(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z) = f(\Delta x)f(\Delta y)f(\Delta z)f(\Delta V_x)f(\Delta V_y)f(\Delta V_z). \quad (3.51)$$

Если потребителем задана вероятность правильного объединения $P_{\text{объед}}$, то

решается задача нахождения пределов интегрирования Δx , Δy , Δz для определения размеров строба точного отбора по известной вероятности объединения:

$$P_{\text{объед } \Delta x} = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \int_{-\infty}^{\Delta x} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2-\bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2-\bar{x}_1+\Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2-\bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2-\bar{x}_1-\Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right] d\Delta x; \quad (3.52)$$

$$P_{\text{объед } \Delta y} = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_1}\sigma_{y_2}} \int_{-\infty}^{\Delta y} \left(\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2-\bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2-\bar{y}_1+\Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2-\bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2-\bar{y}_1-\Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 \right) d\Delta y; \quad (3.53)$$

$$P_{\text{объед } \Delta z} = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \int_{-\infty}^{\Delta z} \left(\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2-\bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2-\bar{z}_1+\Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2-\bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2-\bar{z}_1-\Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 \right) d\Delta z. \quad (3.54)$$

Решение этой задачи возможно численными методами [125]. Результатом решения является определение величин Δx , Δy , Δz , которые и определяют размеры строба точного отбора при заданной вероятности объединения.

После определения размера строба проводится попарно точный отбор. Для рассматриваемого случая сравнения трех сообщений J_{12} , J_{11} и J_{21} от двух источников № 1 и № 2 результаты точного отбора могут быть следующими:

1 Сообщения J_{12} , J_{11} и J_{21} попарно не соответствуют критерию точного отбора, в этом случае все три сообщения J_{12} , J_{11} и J_{21} относятся к различным объектам.

2 Если критерию точного отбора соответствуют сообщения J_{12} и J_{11} , то эти сообщения объединяются, а сообщение J_{21} относится к другому объекту.

3 В случае соответствия критерию точного отбора сообщений J_{12} и J_{21} они будут являться сообщениями об одном объекте, а сообщение J_{11} будет относиться к другому.

4 Критерию точного отбора соответствуют обе пары сообщений J_{12} , J_{11} и J_{12} , J_{21} . В этом случае для принятия решения необходимо провести дополнительное

сравнение этих сообщений.

Отметим, что в случае 1 результат отбора очевиден: потребителю выдается информация о 3-х объектах от двух источников. В случаях 2, 3 необходимо произвести выбор конкретного источника для выдачи РЛИ потребителю. При этом выбор может осуществляться по критерию, например, наименьшего среднеквадратического отклонения координат, измеряемых РЛС № 1 и № 2.

Самым сложным является случай 4. Для этого случая сформулируем гипотезы о принадлежности сообщений следующим образом:

– гипотеза H_1 : сообщения J_{11} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{21} – к другому;

– гипотеза H_2 : сообщения J_{21} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{11} – к другому.

Решение о выборе гипотезы H_1 или H_2 принимается по критерию максимума правдоподобия, то есть должно быть определено максимальное значение функции правдоподобия гипотез.

Пусть функции правдоподобия гипотез представлены в виде:

$$w(\mathfrak{g} / H_1) = w_1(\mathfrak{g}_{11} / \mathfrak{g}_{12}); \quad (3.55)$$

$$w(\mathfrak{g} / H_2) = w_2(\mathfrak{g}_{21} / \mathfrak{g}_{12}), \quad (3.56)$$

где \mathfrak{g} – вектор параметров сообщений; \mathfrak{g}_{11} , \mathfrak{g}_{12} , \mathfrak{g}_{21} – векторы параметров сообщений J_{11} , J_{12} и J_{21} ; $w(\mathfrak{g}_{ij} / \mathfrak{g}_{12})$ – многомерная условная плотность вероятности параметров сообщения J_{ij} при условии, что это сообщение объединяется с сообщением J_{12} . Выражение для вектора разности $\Delta\mathfrak{g}_{ij/12}$ между соответствующими составляющими вектора параметров J_{ij} и J_{12} при принятии решения о выборе одной из гипотез имеет вид:

$$\Delta\mathfrak{g}_{ij/12} = \begin{pmatrix} x_{ij} - x_{12} \\ y_{ij} - y_{12} \\ z_{ij} - z_{12} \\ V_{x_{ij}} - V_{x_{12}} \\ V_{y_{ij}} - V_{y_{12}} \\ V_{z_{ij}} - V_{z_{12}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x_{ij12} \\ \Delta y_{ij12} \\ \Delta z_{ij12} \\ \Delta V_{x_{ij12}} \\ \Delta V_{y_{ij12}} \\ \Delta V_{z_{ij12}} \end{pmatrix}. \quad (3.57)$$

По аналогии со случаем измерений координат и составляющих скоростей РЛС, для вектора разности $\Delta\mathbf{\vartheta}_{ij/12}$ примем многомерный нормальный закон распределения. В этом случае условная плотность распределения вероятности имеет вид [125]:

$$f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{ij/12}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^6 |\Psi_{ij/12}|}} \exp \left[-\Delta\mathbf{\vartheta}_{ij/12}^T \Psi_{ij/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{ij/12} \right], \quad (3.58)$$

или

$$f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^6 |\Psi_{11/12}|}} \exp \left[-\Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}^T \Psi_{11/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12} \right]; \quad (3.59)$$

$$f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^6 |\Psi_{21/12}|}} \exp \left[-\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12}^T \Psi_{21/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12} \right], \quad (3.60)$$

где $\Psi_{ij/12} = \Psi_{i1} + \Psi_2$ – корреляционная матрица ошибок измерения для вектора разности параметров сообщений, подлежащих сравнению, от источников № 1 и № 2, элементы этой матрицы равны сумме одноименных элементов матриц ошибок оценки параметров нового Ψ_2 и сравниваемого Ψ_{i1} сообщений; $|\Psi_{ij/12}|$ – определитель матрицы $\Psi_{ij/12}$.

Если полагать, что ошибки измерения источника № 1 имеют одинаковые корреляционные матрицы ошибок, что можно допустить в случае измерения координат близко расположенных объектов, то есть

$$\Psi_{11} = \Psi_{21} = \Psi_1, \quad (3.61)$$

то корреляционная матрица ошибок для векторов разности параметров подлежащих сравнению сообщений с учетом (3.61) принимает следующий вид:

$$\Psi_{ij/12} = \Psi_1 + \Psi_2. \quad (3.62)$$

Предполагая, что объединение осуществляется по координатам x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} и составляющим скоростей V_{x1} , V_{y1} , V_{z1} и корреляция между ними отсутствует, то корреляционная матрица ошибок (3.62) для векторов $\Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}$ и $\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12}$ источников № 1 и № 2 запишется в виде

$$\Psi_{21/12} = \Psi_{11/12} = \Psi_1 + \Psi_2 =$$

$$= \begin{vmatrix} \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{x1}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{y1}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{z1}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2 \end{vmatrix} \quad (3.63)$$

Учитывая (3.59), (3.60), можно записать, что

$$\frac{1}{\sqrt{(2\pi)^6 |\Psi_{11/12}|}} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^6 |\Psi_{21/12}|}}, \quad (3.64)$$

а максимум функций $f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{ij/12})$ будет достигаться при минимальном значении выражений, стоящих под знаком экспоненты в выражениях (3.59), (3.60). Представим соотношение функций правдоподобия (3.59), (3.60) в виде:

$$M = \frac{f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12})}{f(\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12})} = \frac{\exp(\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12}^T \Psi_{21/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12})}{\exp(\Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}^T \Psi_{11/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12})} = \exp(\Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12}^T \Psi_{21/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{21/12} - \Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}^T \Psi_{11/12}^{-1} \Delta\mathbf{\vartheta}_{11/12}) \quad (3.65)$$

После подстановки (3.57), (3.63) в (3.65), получим

$$M = \exp[(\Delta x_{2112}^2 - \Delta x_{1112}^2) + (\Delta y_{2112}^2 - \Delta y_{1112}^2) + (\Delta z_{2112}^2 - \Delta z_{1112}^2) + (\Delta V_{x_{2112}}^2 - \Delta V_{x_{1112}}^2) + (\Delta V_{y_{2112}}^2 - \Delta V_{y_{1112}}^2) + (\Delta V_{z_{2112}}^2 - \Delta V_{z_{1112}}^2)]. \quad (3.66)$$

Прологарифмируем выражение (3.66=2.61):

$$\ln M = (\Delta x_{2112}^2 - \Delta x_{1112}^2) + (\Delta y_{2112}^2 - \Delta y_{1112}^2) + (\Delta z_{2112}^2 - \Delta z_{1112}^2) + (\Delta V_{x_{2112}}^2 - \Delta V_{x_{1112}}^2) + (\Delta V_{y_{2112}}^2 - \Delta V_{y_{1112}}^2) + (\Delta V_{z_{2112}}^2 - \Delta V_{z_{1112}}^2) \quad (3.67)$$

Правило принятия решения об объединении на основании выражения (3.67) будет иметь следующий вид:

$$A = \begin{cases} \text{если } \ln M \geq 0, \text{ принимается гипотеза } H_1; \\ \text{если } \ln M < 0, \text{ принимается гипотеза } H_2. \end{cases} \quad (3.68)$$

Учитывая, что $\Psi_{21/12}^{-1} = \Psi_{11/12}^{-1}$, выбор гипотез осуществляется на основании сравнения выражений, стоящих под знаком экспоненты в выражениях (3.59), (3.60) в соответствии с [125].

Из (3.67) и (3.68) следует, что правило принятия решения об объединении формулируется в следующем виде:

Если

$$[(\Delta x_{2112}^2 - \Delta x_{1112}^2) + (\Delta y_{2112}^2 - \Delta y_{1112}^2) + (\Delta z_{2112}^2 - \Delta z_{1112}^2) + (\Delta V_{x_{2112}}^2 - \Delta V_{x_{1112}}^2) + (\Delta V_{y_{2112}}^2 - \Delta V_{y_{1112}}^2) + (\Delta V_{z_{2112}}^2 - \Delta V_{z_{1112}}^2)] > 0, \quad (3.69)$$

то принимается гипотеза H_1 , в противном случае принимается гипотеза H_2 .

Положительное решение по объединению имеет место на основе сравнения сумм разностей квадратов расстояний и сумм разностей квадратов составляющих скоростей между соответствующими координатами и составляющими скоростей в сочетаниях сообщений, соответствующих гипотезам H_1 и H_2 .

Совместная вероятность $P_{\text{объед}}$ правильного объединения объектов, учитывая (3.59), (3.60) и (3.64), может быть представлена в форме:

$$P_{\text{объед}} = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{|\Psi_{12}|}} \left[\left(\int_0^{\Delta x} \int_0^{\Delta y} \int_0^{\Delta z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} + \frac{\Delta y^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} + \frac{\Delta z^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) \right] d\Delta x d\Delta y d\Delta z \right) \left(\int_0^{\Delta V_x} \int_0^{\Delta V_y} \int_0^{\Delta V_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V_x^2}{\sigma_{V_{x1}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2} + \frac{\Delta V_y^2}{\sigma_{V_{y1}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2} + \frac{\Delta V_z^2}{\sigma_{V_{z1}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2} \right) \right] d\Delta V_x d\Delta V_y d\Delta V_z \right) \right], \quad (3.70)$$

в которой пределы интегрирования Δx , Δy , Δz , ΔV_x , ΔV_y , ΔV_z определяются в соответствии с вероятностью объединения информации, определяемой потребителем. Эти данные используются в качестве исходных для вычисления размеров строга точного отбора.

Полагая, что плотность распределения вероятности симметрична относительно оси ординат и что выражение для модуля принимает только положительные значения, то для дальнейшего преобразования выражения (3.70) можно применить функцию Лапласа вида:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (3.71)$$

Если обозначить $t_x = \frac{\Delta x}{\sigma_x}$, $t_y = \frac{\Delta y}{\sigma_y}$, $t_z = \frac{\Delta z}{\sigma_z}$, то с учетом (3.70) выражение для вероятности объединения по трем координатам будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{объед}} = \frac{2\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{2\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{2\Phi(\Delta z)}{\sigma_z}, \quad (3.72)$$

где $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}$, $\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2}$, $\sigma_z = \sqrt{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2}$ соответственно,

или

$$P_{\text{объед}} = 8 \frac{\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{\Phi(\Delta z)}{\sigma_z}. \quad (3.73)$$

Суммарное выражение для многомерной вероятности объединения по трем координатам и трем составляющим скоростей будет иметь вид:

$$P_{\text{объед}} = 64 \frac{\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{\Phi(\Delta z)}{\sigma_z} \frac{\Phi(\Delta v_x)}{\sigma_{v_x}} \frac{\Phi(\Delta v_y)}{\sigma_{v_y}} \frac{\Phi(\Delta v_z)}{\sigma_{v_z}}. \quad (3.74)$$

Выше рассмотрен случай, когда в попарно сравниваемых сообщениях J_{11} и J_{12} , J_{21} и J_{12} присутствуют сообщения от одного и того же источника J_{11} и J_{21} . Если предположить, что эти сообщения принадлежат разным источникам и между ними ранее был проведен точный отбор с отрицательным результатом (то есть сообщения не объединились), то в выражении (3.61) корреляционные матрицы разности ошибок координат и составляющих скоростей не будут равны. Поэтому в выражениях (3.68), (3.69) и (3.70) будут сравниваться суммы разностей квадратов средневзвешенных расстояний и разностей квадратов средневзвешенных составляющих скоростей между одноименными координатами и составляющими скоростей. Например, если при точном отборе попарно сравниваются сообщения J_{11} и J_{12} , J_{13} и J_{12} , то есть сообщения J_{11} и J_{13} принадлежат разным источникам, суммы корреляционных матриц ошибок (3.61) для векторов разности $\Delta \mathbf{\Theta}_{ij/12}$ будут разными для соответствующих пар сообщений:

$$\Psi_1 + \Psi_2 =$$

$$= \begin{vmatrix} \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{x1}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{y1}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{z1}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2 \end{vmatrix}, \quad (3.75)$$

$$\Psi_2 + \Psi_3 =$$

$$= \begin{vmatrix} \sigma_{x_2}^2 + \sigma_{x_3}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_2}^2 + \sigma_{y_3}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z_2}^2 + \sigma_{z_3}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{x2}}^2 + \sigma_{V_{x3}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{y2}}^2 + \sigma_{V_{y3}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{z2}}^2 + \sigma_{V_{z3}}^2 \end{vmatrix}. \quad (3.76)$$

Выражение (3.66) с учетом (3.75) и (3.76) принимает вид:

$$M = \left(\frac{\Delta x_{1312}^2}{\sigma_{x_3}^2 + \sigma_{x_2}^2} - \frac{\Delta x_{1112}^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta y_{1312}^2}{\sigma_{y_3}^2 + \sigma_{y_2}^2} - \frac{\Delta y_{1112}^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta z_{1312}^2}{\sigma_{z_3}^2 + \sigma_{z_2}^2} - \frac{\Delta z_{1112}^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) +$$

$$+ \left(\frac{\Delta V_{x1312}^2}{\sigma_{V_{x3}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2} - \frac{\Delta V_{x1112}^2}{\sigma_{V_{x1}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{y1312}^2}{\sigma_{V_{y3}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2} - \frac{\Delta V_{y1112}^2}{\sigma_{V_{y1}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{z1312}^2}{\sigma_{V_{z3}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2} - \frac{\Delta V_{z1112}^2}{\sigma_{V_{z1}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2} \right). \quad (3.77)$$

Правило принятия решения об объединении (3.67) остается прежним, гипотезы формулируются с учетом изменения количества источников и принадлежности сообщений:

– гипотеза H_1 : сообщения J_{11} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{13} – к другому;

– гипотеза H_2 : сообщения J_{13} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{11} – к другому.

Решение на объединение принимается с учетом (3.77).

Если

$$\begin{aligned}
& \left[\left(\frac{\Delta x_{1312}^2}{\sigma_{x_3}^2 + \sigma_{x_2}^2} - \frac{\Delta x_{1112}^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta y_{1312}^2}{\sigma_{y_3}^2 + \sigma_{y_2}^2} - \frac{\Delta y_{1112}^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta z_{1312}^2}{\sigma_{z_3}^2 + \sigma_{z_2}^2} - \frac{\Delta z_{1112}^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) + \right. \\
& + \left(\frac{\Delta V_{x1312}^2}{\sigma_{V_{x3}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2} - \frac{\Delta V_{x1112}^2}{\sigma_{V_{x1}}^2 + \sigma_{V_{x2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{y1312}^2}{\sigma_{V_{y3}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2} - \frac{\Delta V_{y1112}^2}{\sigma_{V_{y1}}^2 + \sigma_{V_{y2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{z1312}^2}{\sigma_{V_{z3}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2} - \right. \\
& \left. \left. - \frac{\Delta V_{z1112}^2}{\sigma_{V_{z1}}^2 + \sigma_{V_{z2}}^2} \right) \right] > 0, \tag{3.78}
\end{aligned}$$

то принимается гипотеза H_1 , в противном случае принимается гипотеза H_2 .

Выражение (3.78) показывает, что в более общем случае объединение сообщений на сервере проводится на основе сравнения средневзвешенных значений сумм разностей квадратов соответствующих координат и разностей квадратов соответствующих составляющих скоростей.

Существенными отличиями метода сетевой обработки по сравнению с существующим методом третичной обработки [125], являются следующие:

- во-первых, этап предварительного отбора проводится до этапа экстраполяции, при этом может применяться адаптивный строб предварительного отбора;
- во-вторых, пары сообщений сравниваются не периодически и не связаны с циклом обработки, сравнение происходит сразу после поступления нового сообщения;
- в третьих, после экстраполяции вводится этап точного отбора с учетом заданной вероятности объединения информации;
- в четвертых, критерий максимума правдоподобия для принятия правильного решения используется на этапе, следующем после точного отбора, если число сообщений, прошедших точный отбор, будет составлять два и более.

Предлагаемая последовательность этапов объединения информации на сервере АСООИ позволяет отобрать для конечного этапа объединения минимальное число сообщений, что влияет на скорость обработки данных на сервере в целом, обеспечивает выполнение требований минимальности времени обработки и доставки информации потребителям. При этом процесс объединения информации приобретает динамический характер, то есть изменением требуемой вероятности

объединения на этапе точного отбора потребитель имеет возможность получать от сервера АСООИ информацию заданного качества.

Вероятность правильного объединения $P_{\text{объед}}$, с теоретической точки зрения, не должна зависеть от структуры информационной системы или количества обрабатываемых сообщений о воздушных объектах. Но на практике с увеличением плотности ВО вероятность правильного объединения данных при третичной обработке в иерархической информационной системе ухудшается, и с дальнейшим увеличением количества ВО возникает информационная перегрузка, что влечет за собой существенное уменьшение качества информации. Происходит это в узлах информационной системы иерархической структуры в основном за счет временных задержек при обработке сообщений. В информационной системе сетевой структуры состояние информационной перегрузки наступает при значительно большей плотности обрабатываемых данных, и связано оно в основном с пропускной способностью каналов передачи данных, а не с временными задержками при обработке. Более точные количественные характеристики вероятности объединения (соответственно, и размеры стробов точного отбора) и их изменения при различной плотности воздушных объектов позволяет получить динамическое моделирование информационного обмена, происходящего в системах обработки информации различного вида структур.

Выводы по разделу 3

1. Разработан и запатентован метод обработки РЛИ на сервере информационной системы полносвязной сетевой структуры. Предварительная оценка показала ожидаемую высокую производительность алгоритма, основанного на новом методе обработки. Последовательность этапов обработки и правил определения критериев как способ обработки РЛИ в сетевой информационной структуре защищена патентом на изобретение.

2. Разработана методика предварительного отбора РЛИ, в которой вводится адаптивный строб предварительного отбора, зависящий от скорости ВО и

СКО РЛС, осуществляющей наблюдение. Предложенный подход к расчету размера стога предварительного отбора позволяет:

- уменьшить размеры области, в которую попадают сообщения о ВО, подлежащие дальнейшей попарной проверке на принадлежность к одному ВО;
- формировать адаптивный стоб предварительного отбора ВО по скорости для каждого сообщения о ВО, поступающего на сервер;
- сократить время обработки РЛИ за счет уменьшения числа пар ВО, участвующих в объединении РЛИ.

3. Получены математические выражения для оценки вероятностных параметров объединения радиолокационной информации от некогерентных и пространственно-разнесенных источников в зависимости от модуля разности координат и составляющих скоростей ВО. Данные выражения получены с учетом ряда условий, а именно: объединение осуществляется в узле информационной системы сетевой структуры; для объединения применяется алгоритм сетевой обработки, который в силу особенностей своего построения допускает обработку только одного ветвящегося решения – одного сообщения о воздушном объекте. При оценке вероятностных параметров объединения РЛИ не учитываются систематические и случайные ошибки и погрешности, имеющиеся в исходной информации от источников и в предшествующих объединению этапах алгоритма третичной сетевой обработки.

4. Показано, что при выполнении определенных условий и допущений вероятность объединения информации одинакова для каждого поступившего сообщения о воздушном объекте, не зависит от продолжительности циклов обработки в узле информационной системы, от количества обрабатываемых измерений, загрузки каналов передачи данных и т.п., в отличие от традиционных алгоритмов обработки. Полученные выражения для расчета вероятности точного отбора могут быть использованы при построении математических моделей функционирования и оценки вероятностных параметров объединения РЛИ как в узлах информационных систем сетевой структуры (пунктов сбора и обработки информации), так и для оценки достоверности информации в информационных системах в целом.

Вычисление размеров строга точного отбора по заданной вероятности объединения информации является решением обратной задачи при использовании алгоритма сетевой обработки. Уменьшение размеров строга точного отбора по сравнению с традиционным алгоритмом позволяет уменьшить количество вычислений при последующем попарном сравнении сообщений, тем самым сократить время обработки радиолокационной информации в информационной системе и, в конечном итоге, повысить точность и достоверность информации, передаваемой потребителям.

5. Разработана методика объединения РЛИ при обработке на сервере, которая позволяет решить задачу объединения РЛИ о ВО на сервере информационной системы сетевой структуры. Эта методика имеет ряд отличий от существующей методики, принятой в третичной обработке: во-первых, этапы приведения в систему координат сервера и экстраполяции остаются без изменений; во-вторых, предварительный отбор проводится до экстраполяции; в третьих, в отличие от способа третичной обработки, предлагается сравнивать пары сообщений не периодически, а в момент поступления нового сообщения о ВО; в четвертых, после экстраполяции вводится этап точного отбора, который учитывает требуемую потребителем вероятность объединения.

6. Использование разработанной методики объединения РЛИ позволяет отобрать для конечного этапа объединения минимальное число ВО, что существенно снижает время обработки данных на сервере и обеспечивает доставку РЛИ потребителям в реальном масштабе времени. Процесс объединения приобретает динамический характер за счет возможности изменения потребителем требуемой вероятности объединения на этапе точного отбора.

7. На основе разработанного метода синтезирован алгоритм обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, который позволяет существенно сократить время доведения РЛИ от источников до потребителей, а также обеспечивает возможность получения требуемой РЛИ любым вновь подключенным к серверу потребителем и возможность выдачи РЛИ в сетевую структуру любым вновь подключенным источником.

ГЛАВА 4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАССИВОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В ВИДЕ МАТРИЦ. ОБРАБОТКА СООБЩЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ РЛИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРИЗНАКАМИ

В главе 4 продолжено решение задачи этапа 3 метода сквозного синтеза – синтез общего решения [75, 76, 165, 166]. Представлена разработка и усовершенствование частных алгоритмов и методик обработки информации на базе математического аппарата матричной алгебры.

При объединении большого количества сообщений о воздушных объектах общее время обработки может существенно увеличиться вследствие ограничивающего условия по применению существующих средств вычислительной техники (раздел 2). В обработке радиолокационной информации от пространственно разнесенных некогерентных источников, как обработке динамически изменяющихся данных, представление массивов данных с информацией о трассах и признаках воздушных объектов в различном виде в некоторых условиях может играть важную роль. При практической реализации вычислительного процесса представлялось естественным, что поиск нужной информации по воздушному объекту в массивах данных, её обновлении и обработке осуществлялся с использованием метода поэлементного поиска. К этому методу располагали традиционные способы последовательной организации вычислений.

Вместе с тем, применение математического аппарата матричной алгебры и выражение массивов данных с помощью матриц дает хорошую возможность сформировать оптимальным образом вычисления в третичной обработке. С теоретической точки зрения вычисления с помощью матриц позволяют сразу получать выходные данные в виде итоговой (результатирующей) матрицы, без поэлементного перебора данных. Представление данных в матричном виде, и действия с матрицами требуют существенного вычислительного ресурса сами по себе. Можно предполагать, что сокращение времени вычислений при использовании матриц может осуществиться при наличии достаточно большого количества данных (сообщений о воздушных объектах) в массивах.

В качестве начальных условий будем считать, что вычисления организованы

традиционным, последовательным способом, без применения специальных процессоров. Ожидаемый выигрыш во времени обработки и в вычислительном ресурсе, как предполагается, получается в результате математических преобразований матриц, которые содержат динамически изменяющуюся информацию о воздушных объектах.

Для сетевой обработки РЛИ необходимо сформулировать последовательность операций с матрицами, в качестве информационных массивов применять матрицы, содержащие сообщения о ВО. Последовательность операций с матрицами при сетевой обработке должна соответствовать способу обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления [90].

Поступающие в виде сообщений данные после приведения в систему координат сервера, предварительного отбора и экстраполяции проходят этап точного отбора и объединения. После этого РЛИ необходимо представить в виде матрицы данных для дальнейшей обработки и выдачи потребителю. Поэтому возникает необходимость поэтапной обработки и хранения РЛИ в матрицах данных сервера.

4.1 Обработка новых сообщений (сообщений о новых трассах) от источников РЛИ [75, 76, 165, 166]

Будем полагать, что на сервере имеются последовательно поступившие сообщения о двух объектах от первого источника J_{11} и J_{21} . Обработка на сервере сводится к пересчету координат в систему координат сервера с последующей выдачей в сеть АСООИ.

Включим РЛИ, поступившую на сервер от j -го источника (где $j = \overline{1, J}$, а j – число источников РЛИ), в исходную матрицу источника (ИМ) $\mathbf{A}^{(j)}$. Предположим также, что имеется источник информации № 1, который выдает РЛИ о двух объектах. Тогда исходная матрица (ИМ), сформированная на сервере по двум сообщениям от этого источника, будет иметь вид

$$\mathbf{A}^{(1)} = \left\| \begin{array}{cccccc} x_1^{(1)} & y_1^{(1)} & z_1^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} & V_{y_1}^{(1)} & V_{z_1}^{(1)} \\ x_2^{(1)} & y_2^{(1)} & z_2^{(1)} & V_{x_2}^{(1)} & V_{y_2}^{(1)} & V_{z_2}^{(1)} \end{array} \right\|^T, \quad (4.1)$$

где $x^{(1)}, y^{(1)}, z^{(1)}$ – координаты объекта относительно точки стояния сервера, $V_x^{(1)}, V_y^{(1)}, V_z^{(1)}$ – составляющие скоростей, верхний индекс (1) – принадлежность к источнику № 1, нижний индекс 1, 2 – номер трассы, присваиваемый источником.

Расположение объектов № 1 и № 2 от источника № 1 относительно центра окружности (места расположения сервера) показано на рисунке 4.1. Первая цифра в обозначении объекта на рисунке 4.1 означает номер сообщения, вторая цифра – номер источника.

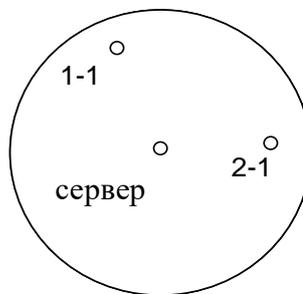


Рисунок 4.1 – Пространственное расположение объектов, обнаруженных источником № 1

Предположим теперь, что на сервер поступило новое сообщение J_{12} от источника № 2, имеющее признак нового сообщения.

На сервере формируется исходная матрица источника $\mathbf{A}^{(2)}$ следующего вида:

$$\mathbf{A}^{(2)} = \left\| \begin{array}{cccccc} x_1^{(2)} & y_1^{(2)} & z_1^{(2)} & V_{x_1}^{(2)} & V_{y_1}^{(2)} & V_{z_1}^{(2)} \end{array} \right\|^T. \quad (4.2)$$

Пространственное расположение объектов, обнаруженных источниками № 1 и № 2, показано на рисунке 4.2.

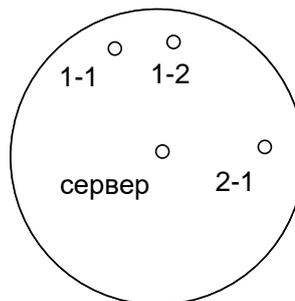


Рисунок 4.2 – Пространственное расположение объектов, обнаруженных источниками № 1 и № 2

Проведем предварительный отбор. Для решения задачи предварительного отбора получим окружность радиуса R с центром, соответствующим координатам объекта № 1-2, обнаруженного РЛС № 2. Радиус окружности рассчитывается в соответствии с выражением (3.10). Пусть в эту окружность попадает только объект № 1-1, обнаруженный РЛС № 1. Расположение объекта в пространстве показано на рисунке 4.3.

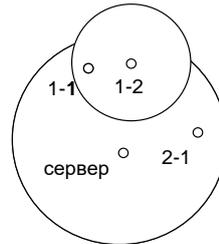


Рисунок 4.3 – Расположение объектов в пространстве со стробом предварительного отбора

Видно, что в результате предварительного отбора первый объект, обнаруженный РЛС № 1, попадает в группу попарной проверки на объединение с первым объектом, обнаруженным РЛС № 2.

Сформируем из двух матриц данных, полученных от РЛС № 1 и № 2, одну общую матрицу \mathbf{A} , которую назовем исходной матрицей (ИМ) сервера:

$$\mathbf{A} = \|\mathbf{A}^{(1)}, \mathbf{A}^{(2)}\|. \quad (4.3)$$

Для формирования матрицы \mathbf{A} введем промежуточную диагональную булеву матрицу $\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(1)}}$, соответствующую исходной матрице $\mathbf{A}^{(1)}$. Число столбцов в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$ равно числу столбцов в матрице $\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(1)}}$:

$$\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(1)}} = \left\| \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{array} \right\|. \quad (4.4)$$

Дополним матрицу $\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(1)}}$ справа нулевыми столбцами. Число нулевых столбцов равно числу столбцов в матрице $\mathbf{A}^{(2)}$, в результате получается промежуточная булева матрица $\mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(1)}}$:

$$\mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(1)}} = \left\| \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{array} \right\|. \quad (4.5)$$

Далее получим промежуточную матрицу $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(1)}$:

$$\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(1)} = \mathbf{A}^{(1)} \mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(1)}} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} \end{vmatrix} \parallel \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & 0 \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} & 0 \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_1}^{(1)} & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.6)$$

Аналогично проведем формирование промежуточной диагональной булевой матрицы $\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(2)}}$ и промежуточной матрицы $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(2)}$. Нулевые столбцы при формировании матрицы $\mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(2)}}$, число которых соответствует числу ненулевых столбцов в матрице $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(1)}$, добавим слева:

$$\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(2)} = \mathbf{A}^{(2)} \mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(2)}} = \begin{vmatrix} x_1^{(2)} \\ y_1^{(2)} \\ z_1^{(2)} \\ V_{x_1}^{(2)} \\ V_{x_1}^{(2)} \\ V_{x_1}^{(2)} \end{vmatrix} \parallel \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & x_1^{(2)} \\ 0 & 0 & y_1^{(2)} \\ 0 & 0 & z_1^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{x_1}^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{x_1}^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{x_1}^{(2)} \end{vmatrix}. \quad (4.7)$$

Сложим полученные промежуточные ИМ $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(1)}$ и $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(2)}$:

$$\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(1)} + \mathbf{A}_{\text{пр}}^{(2)} = \mathbf{A} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & 0 \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} & 0 \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_2}^{(1)} & 0 \\ V_{y_1}^{(1)} & V_{y_2}^{(1)} & 0 \\ V_{z_1}^{(1)} & V_{z_2}^{(1)} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & x_1^{(2)} \\ 0 & 0 & y_1^{(2)} \\ 0 & 0 & z_1^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{x_1}^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{y_1}^{(2)} \\ 0 & 0 & V_{z_1}^{(2)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & x_1^{(2)} \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} & y_1^{(2)} \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} & z_1^{(2)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_2}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} \\ V_{y_1}^{(1)} & V_{y_2}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} \\ V_{z_1}^{(1)} & V_{z_2}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} \end{vmatrix}. \quad (4.8)$$

Результатом выражения (4.8) является исходная матрица сервера \mathbf{A} . Эта матрица включает в себя матрицы $\mathbf{A}^{(1)}$ и $\mathbf{A}^{(2)}$, и в ней содержится сообщения от источников № 1 и № 2, приведенные к системе координат сервера.

При поступлении последующих сообщений о сопровождаемых объектах на сервер производится замена столбцов в матрицах $\mathbf{A}^{(1)}$ и $\mathbf{A}^{(2)}$. Замена происходит следующим образом: допустим, в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$ необходимо заменить столбец № 2

(обновить значение координат и составляющих скоростей объекта № 1-2). Далее, введем промежуточную единичную матрицу замены $\mathbf{E}_{A_3^{(1)}}$, имеющей значение 0 для элементов столбца, который подлежит замене. Номер столбца соответствует порядковому номеру столбца в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$:

$$\mathbf{E}_{A_3^{(1)}} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.9)$$

Затем, в результате произведения Адамара-Шура [128] матриц $\mathbf{A}^{(1)}$ и $\mathbf{E}_{A_3^{(1)}}$ получим промежуточную матрицу замены $\mathbf{A}_{\text{пр3}}^{(1)}$:

$$\mathbf{A}_{\text{пр3}}^{(1)} = \mathbf{A}^{(1)} \otimes \mathbf{E}_{A_3^{(1)}} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_2}^{(1)} \\ V_{y_1}^{(1)} & V_{y_2}^{(1)} \\ V_{z_1}^{(1)} & V_{z_2}^{(1)} \end{vmatrix} \otimes \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & 0 \\ y_1^{(1)} & 0 \\ z_1^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & 0 \\ V_{y_1}^{(1)} & 0 \\ V_{z_1}^{(1)} & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.10)$$

Здесь знак \otimes означает произведение Адамара-Шура [128].

Пришедшее новое сообщение представим в виде матрицы-столбца. Его необходимо разместить в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$ вместо второго столбца:

$$\mathbf{A}_2^{(1)} = \begin{vmatrix} x_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ y_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ z_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ V_{x_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{y_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{z_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \end{vmatrix}. \quad (4.11)$$

Введем единичную матрицу замены столбца $\mathbf{E}_{A_2^{(1)}}$:

$$\mathbf{E}_{A_2^{(1)}} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (4.12)$$

размерность которой $1 \times n$, где n – число столбцов в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$, а значением элемента столбца, подлежащего замене, является 1. Получим промежуточную матрицу замены второго столбца $\mathbf{A}_{\text{пр2}}^{(1)}$:

$$\mathbf{A}_{\text{пр2}}^{(1)} = \mathbf{A}_2^{(1)} \mathbf{E}_{\mathbf{A}_2^{(1)}} = \begin{pmatrix} x_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ y_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ z_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ V_{x_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{y_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{z_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \end{pmatrix} \parallel 0 \quad 1 \parallel = \begin{pmatrix} 0 & x_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & y_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & z_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & V_{x_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ 0 & V_{y_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ 0 & V_{z_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \end{pmatrix}. \quad (4.13)$$

Найдем сумму промежуточных матриц $\mathbf{A}_{\text{пр2}}^{(1)}$ и $\mathbf{A}_{\text{пр3}}^{(1)}$:

$$\mathbf{A}^{(1)} = \mathbf{A}_{\text{пр2}}^{(1)} + \mathbf{A}_{\text{пр3}}^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & x_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & y_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & z_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ 0 & V_{x_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ 0 & V_{y_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ 0 & V_{z_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & 0 \\ y_1^{(1)} & 0 \\ z_1^{(1)} & 0 \\ V_{x_1}^{(1)} & 0 \\ V_{y_1}^{(1)} & 0 \\ V_{z_1}^{(1)} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ y_1^{(1)} & y_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ z_1^{(1)} & z_{2\text{НОВ}}^{(1)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{y_1}^{(1)} & V_{y_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \\ V_{z_1}^{(1)} & V_{z_{2\text{НОВ}}}^{(1)} \end{pmatrix}. \quad (4.14)$$

В выражении (4.14) видно, что в матрицу $\mathbf{A}^{(1)}$ включены данные из сообщений об объектах № 1-1 и 1-2, при этом данные об объекте № 1-2 обновлены на поступившие новые данные об объекте № 1-2. Подобным образом происходит замена новой поступившей РЛИ и в остальных исходных матрицах источников, таких, как $\mathbf{A}^{(2)}$, $\mathbf{A}^{(3)}$ и т.п.

На рисунках 4.4 и 4.5 представлены: структурная схема алгоритма формирования ИМ сервера и структурная схема алгоритма замены столбца в матрице источника при получении очередного сообщения о сопровождаемом объекте.

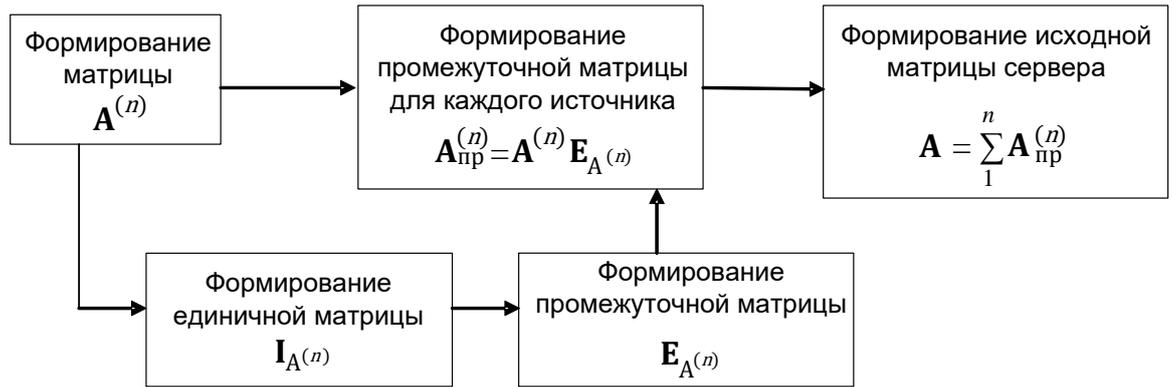


Рисунок 4.4 – Структурная схема алгоритма формирования исходной матрицы сервера

На рисунке 4.4 обозначены: $\mathbf{A}^{(n)}$ – исходные матрицы источников; $\mathbf{I}_{\mathbf{A}^{(n)}}$ – промежуточные диагональные булевы матрицы источников; $\mathbf{E}_{\mathbf{A}^{(n)}}$ – промежуточные булевы матрицы; $\mathbf{A}_{\text{пр}}^{(n)}$ – промежуточные матрицы источников; \mathbf{A} – исходная матрица сервера.

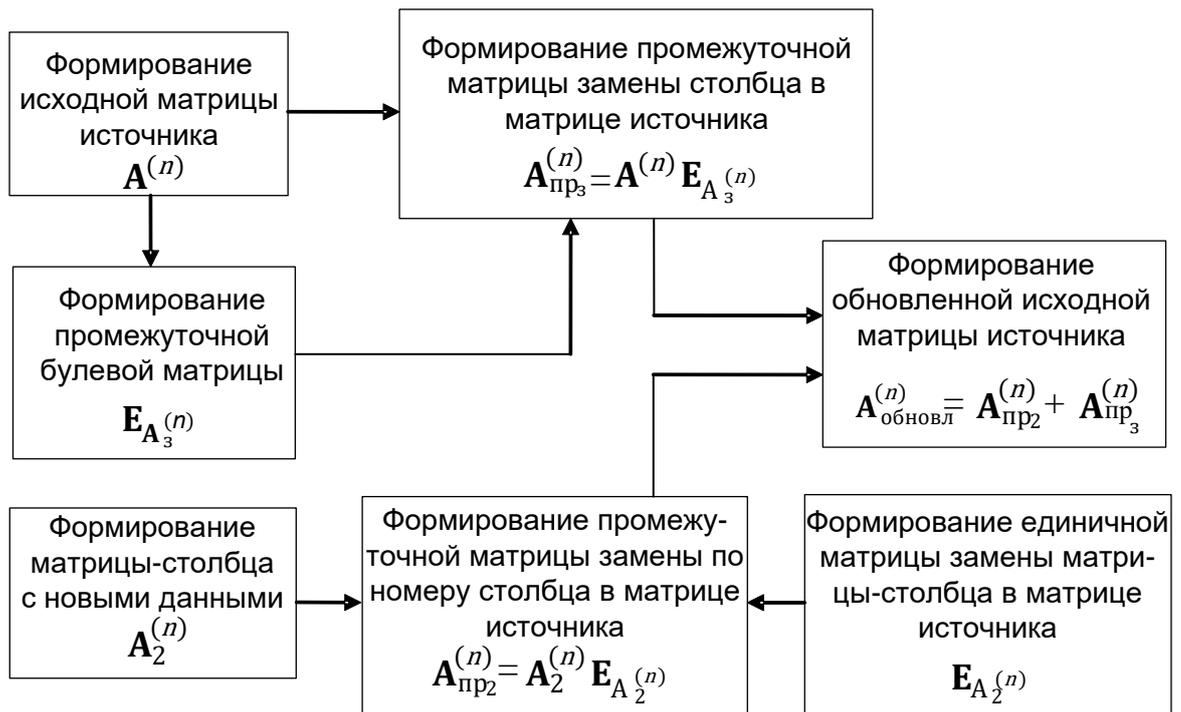


Рисунок 4.5 – Структурная схема алгоритма замены столбца в матрице источника при получении очередного сообщения о сопровождаемом объекте

На рисунке 4.5 обозначены: $\mathbf{A}^{(n)}$ – исходные матрицы источников; $\mathbf{E}_{\mathbf{A}_3^{(n)}}$ – про-

межуточные булевы матрицы при замене столбца в матрице источника; $\mathbf{A}_{\text{пр}_3}^{(n)}$ – промежуточные матрицы при замене столбца в матрице источника; $\mathbf{A}_2^{(n)}$ – матрица-столбец с данными очередного сообщения; $\mathbf{E}_{\mathbf{A}_2}^{(n)}$ – единичные матрицы замены матрицы-столбца в матрице источника; $\mathbf{A}_{\text{пр}_2}^{(n)}$ – промежуточные матрицы замены по номеру столбца в матрице источника; $\mathbf{A}_{\text{обновл}}^{(n)}$ – обновленные исходные матрицы источников.

Рассматривая далее динамическую ситуацию обработки сообщений J_{11} и J_{21} от одного источника № 1, предположим далее, что сервер поступило новое сообщение J_{12} от источника № 2, имеющее признак нового сообщения.

Поступившее сообщение J_{12} в соответствии с алгоритмом сетевой обработки включается в исходную матрицу сервера \mathbf{A} и проходит этапы предварительного отбора, экстраполяции и точного отбора. Предположим, что результаты объединения на этапе точного отбора положительны, т.е. информация, поступившая от источника № 2, в ИМ сервера уже имеется. Это означает, что новое сообщение от РЛС № 2 является сообщением об уже имеющемся воздушном объекте.

Далее, полагая, что на сервере имеется база данных об СКО по координатам и составляющим скоростей источников № 1 и № 2 (в соответствии с принятыми условиями и допущениями), предположим, что источник № 2 имеет более высокую точность. Сформировать результирующую матрицу (РМ) сервера \mathbf{B} , которая не содержит повторяющиеся сообщения об одном и том же объекте, но поступившую от двух источников.

Введем исходную булеву матрицу (ИБМ) сервера \mathbf{C} , её размерность совпадает с размерностью матрицы \mathbf{A} . Столбцы ИБМ \mathbf{C} со значением 1 соответствуют столбцам ИМ \mathbf{A} , которые содержат данные об объектах, которые ранее не объединялись с данными от другого источника. Столбцы матрицы \mathbf{C} со значением 0 соответствуют столбцам ИМ \mathbf{A} , которые содержатся данные о положительном решении задачи объединения сообщений, ранее поступивших от других РЛС.

Для примера, приведенного выше, исходная булева матрица \mathbf{C} сервера будет

иметь вид:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4.15)$$

Применим произведение Адамара-Шура [128] исходной матрицы сервера A и исходной булевой матрицы сервера C . В результате получается промежуточная матрица B_1 :

$$B_1 = A \otimes C = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & x_1^{(2)} \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} & y_1^{(2)} \\ z_1^{(1)} & z_2^{(1)} & z_1^{(2)} \\ V_{x_1}^{(1)} & V_{x_2}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} \\ V_{y_1}^{(1)} & V_{y_2}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} \\ V_{z_1}^{(1)} & V_{z_2}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 & 11 \\ 0 & 11 \\ 0 & 11 \\ 0 & 11 \\ 0 & 11 \\ 0 & 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & x_2^{(1)} & x_1^{(2)} \\ 0 & y_2^{(1)} & y_1^{(2)} \\ 0 & z_2^{(1)} & z_1^{(2)} \\ 0 & V_{x_2}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} \\ 0 & V_{y_2}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} \\ 0 & V_{z_2}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} \end{pmatrix}. \quad (4.16)$$

В матрице B_1 столбцы с ненулевыми значениями есть не что иное, как сообщения от источников № 1 и № 2, прошедшие этап объединения. Столбец промежуточной матрицы с нулевым значением является сообщением J_{11} от источника № 1, который, в свою очередь, имел худшее СКО, чем источник № 2.

Теперь необходимо удалить нулевой столбец. Для этого вводится промежуточная булева матрица E_2 , в которой число строк равно числу столбцов матрицы A . Число столбцов в матрице E_2 равно числу ненулевых столбцов в матрице C . В тех строках, номера которых совпадают с номерами нулевых столбцов матрицы C , элементам матрицы E_2 присваиваются нулевые значения. Единичные значения присваиваются тем элементам строк матрицы E_2 , порядковые номера которых совпадают с порядковым номером ненулевых (единичных) столбцов матрицы C . При выполняется правило:

$$E_{2ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } i = s, \quad j = f^1, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (4.17)$$

где i - номер строки в матрице \mathbf{E}_2 ; j – номер столбца матрицы \mathbf{E}_2 ; s – порядковый номер столбца матрицы \mathbf{C} ; f^1 – порядковый номер единичного столбца матрицы \mathbf{C} (единичные столбцы имеют собственную нумерацию).

С учетом этого

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 \mathbf{E}_2 = \begin{pmatrix} 0 & x_2^{(1)} & x_1^{(2)} \\ 0 & y_2^{(1)} & y_1^{(2)} \\ 0 & z_2^{(1)} & z_1^{(2)} \\ 0 & V_{x_2}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} \\ 0 & V_{y_2}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} \\ 0 & V_{z_2}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2^{(1)} & x_1^{(2)} \\ y_2^{(1)} & y_1^{(2)} \\ z_2^{(1)} & z_1^{(2)} \\ V_{x_2}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} \\ V_{y_2}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} \\ V_{z_2}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} \end{pmatrix}. \quad (4.18)$$

В результате произведения матриц \mathbf{B}_1 и \mathbf{E}_2 получается матрица \mathbf{B} , содержащая только те сообщения, которые прошли этап объединения. Матрица \mathbf{B} не содержит нулевых столбцов, в ней учтено, что СКО от источника № 2 лучше, чем от источника, поэтому матрица \mathbf{B} получила название результирующей матрицы сервера. Матрица \mathbf{B} содержит объединенную радиолокационную информацию по сообщениям, поступившим на сервер от всех подключенных источников.

На рисунке 4.6 представлена структурная схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера.

На этом рисунке обозначены: \mathbf{A} – исходная матрица сервера; \mathbf{C} – исходная булева матрица сервера; \mathbf{B}_1 – промежуточная результирующая матрица сервера; \mathbf{E}_2 – промежуточная матрица сервера с данными объединения; \mathbf{B} – результирующая матрица сервера.

Обновление матриц \mathbf{A} и \mathbf{B} будет происходить в соответствии с приведенной последовательностью обработки каждый раз, когда на сервер поступает сообщение о вновь обнаруженном объекте, и в том случае, когда число источников РЛИ более одного.



Рисунок 4.6 – Структурная схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера

4.2 Обработка повторных сообщений от источников РЛИ [75, 76, 165, 166]

После поступления на сервер сообщения о новом воздушном объекте и его обработки, от РЛС начинают выдаваться повторные сообщения об обнаруженном объекте в режиме автосопровождения.

Вместе с кинематическими характеристиками в сообщениях содержится признаковая информация. К признаковой информации относится:

- номер трассы, присваиваемый источником (РЛС);
- признак определения государственной принадлежности;
- номер или признак источника, который определяется номером некомутируемого канала передачи данных;
- класс воздушного объекта, распознаваемый РЛС;
- другие признаки, содержащиеся в сообщениях.

Допустим, на узел обработки информации (сервер) поступает повторное сообщение об объекте в режиме автосопровождения. В этом случае имеется возможность обновить данные об объекте в матрицах сервера, используя только признаковую информацию, не прибегая к выполнению алгоритма объединения в полном объеме. Для обновления данных достаточно произвести определение столбцов ис-

ходной матрицы сервера \mathbf{A} и результирующей матрицы сервера \mathbf{B} , подлежащих замене.

Предположим, что исходная матрица сервера \mathbf{A} содержит значения координат и составляющих скоростей. В каждый столбец матрицы \mathbf{A} добавим элемент с номером трассы, присвоенном РЛС. Совместно с номером канала передачи данных или номером РЛС, номер трассы, образует дополнительный индивидуальный признак объекта.

Для m -источников исходная матрица \mathbf{A} сервера имеет вид

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_{N_2}^{(2)} & \dots & x_1^{(m)} & \dots & x_{N_m}^{(m)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & y_1^{(2)} & \dots & y_{N_2}^{(2)} & \dots & y_1^{(m)} & \dots & y_{N_m}^{(m)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & z_1^{(2)} & \dots & z_{N_2}^{(2)} & \dots & z_1^{(m)} & \dots & z_{N_m}^{(m)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} & \dots & V_{x_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{x_1}^{(m)} & \dots & V_{x_{N_m}}^{(m)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} & \dots & V_{y_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{y_1}^{(m)} & \dots & V_{y_{N_m}}^{(m)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} & \dots & V_{z_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{z_1}^{(m)} & \dots & V_{z_{N_m}}^{(m)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & n_2^{(2)} & \dots & n_{N_2}^{(2)} & \dots & n_1^{(m)} & \dots & n_{N_m}^{(m)} \end{pmatrix}, \quad (4.19)$$

где $n^{(i)} \in \{n_1^{(i)}, n_{N_m}^{(i)}\}$ – номера трасс, присваиваемые i -й РЛС (для $i = \overline{1, m}$).

В том случае, когда серверу выдает информацию только один источник, данные в столбцах исходной матрицы $\mathbf{A}^{(1)}$ обновляются по мере их поступления от этого источника. Обновление происходит, если номер трассы, присвоенный источником, совпадает с номером трассы, находящимся в матрице $\mathbf{A}^{(1)}$.

Если данные поступают от m -источников, то в этом случае осуществляется сравнение номеров источников и номеров трасс новых сообщений и соответственно сообщений, имеющихся на сервере.

Допустим, что до поступления повторного сообщения о ранее обнаруженном объекте на сервере имеются исходная булева матрица сервера \mathbf{C} и результирующая матрица сервера \mathbf{B} , сформированные ранее. Тогда исходная булева матрица сервера $\mathbf{C} = \|C_{ij}\|$, где $C_{ij} = \overline{0, 1}$, причем $C_{ij} = 1$ при условии, что сообщение J_{ij} не участ-

вовало в процедуре объединения, и $C_{ij} = 0$ в противном случае. Произведем дополнение этой матрицы строкой снизу, соответствующей номерам трасс, но значения элементов которой соответствуют значениям булевых элементов столбцов

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} Cx_1^{(1)} & \dots & Cx_{N_1}^{(1)} & Cx_1^{(2)} & \dots & Cx_{N_2}^{(2)} & Cx_1^{(m)} & \dots & Cx_{N_m}^{(m)} \\ Cy_1^{(1)} & \dots & Cy_{N_1}^{(1)} & Cy_1^{(2)} & \dots & Cy_{N_2}^{(2)} & Cy_1^{(m)} & \dots & Cy_{N_m}^{(m)} \\ Cz_1^{(1)} & \dots & Cz_{N_1}^{(1)} & Cz_1^{(2)} & \dots & Cz_{N_2}^{(2)} & Cz_1^{(m)} & \dots & Cz_{N_m}^{(m)} \\ CV_{x_1}^{(1)} & \dots & CV_{x_{N_1}}^{(1)} & CV_{x_1}^{(2)} & \dots & CV_{x_{N_2}}^{(2)} & CV_{x_1}^{(m)} & \dots & CV_{x_{N_m}}^{(m)} \\ CV_{y_1}^{(1)} & \dots & CV_{y_{N_1}}^{(1)} & CV_{y_1}^{(2)} & \dots & CV_{y_{N_2}}^{(2)} & CV_{y_1}^{(m)} & \dots & CV_{y_{N_m}}^{(m)} \\ CV_{z_1}^{(1)} & \dots & CV_{z_{N_1}}^{(1)} & CV_{z_1}^{(2)} & \dots & CV_{z_{N_2}}^{(2)} & CV_{z_1}^{(m)} & \dots & CV_{z_{N_m}}^{(m)} \\ Cn_1^{(1)} & \dots & Cn_{N_1}^{(1)} & Cn_1^{(2)} & \dots & Cn_{N_2}^{(2)} & Cn_1^{(m)} & \dots & Cn_{N_m}^{(m)} \end{pmatrix}. \quad (4.20)$$

Результирующая матрица сервера \mathbf{B} в соответствии с алгоритмом, рассмотренному ранее на рисунке 4.6, будет равна:

$$\mathbf{B} = (\mathbf{A} \otimes \mathbf{C})\mathbf{E}_2. \quad (4.21)$$

Отметим, что столбцы результирующей матрицы \mathbf{B} соответствуют столбцам исходной матрицы \mathbf{A} и содержат информацию, прошедшую объединение.

$$\mathbf{B} = \left\| \begin{array}{cccccc} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & \dots & x_1^{(q)} & \dots & x_{N_q}^{(q)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & \dots & y_1^{(q)} & \dots & y_{N_q}^{(q)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & \dots & z_1^{(q)} & \dots & z_{N_q}^{(q)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(q)} & \dots & V_{x_{N_q}}^{(q)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(q)} & \dots & V_{y_{N_q}}^{(q)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(q)} & \dots & V_{z_{N_q}}^{(q)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & \dots & n_1^{(q)} & \dots & n_{N_q}^{(q)} \end{array} \right\|. \quad (4.22)$$

Здесь $n_B^{(i)} \in \{n_1^{(i)} \dots n_{N_q}^{(i)}\}$ – номера трасс, присваиваемые i -й РЛС (для $i = \overline{1, q}$), где N_l – число трасс, поступивших от l -го источника, N_q – число трасс, поступивших от q -го источника.

В общем случае в результирующей матрице \mathbf{B} , по сравнению с исходной матрицей \mathbf{A} , после объединения число источников q_B и число сообщений M_B меньше

или равно соответствующему числу источников m_A и сообщений M_A :

$$q_B \leq m_A ; \quad M_B \leq M_A. \quad (4.23)$$

Число сообщений об объектах (столбцов результирующей матрицы **B**) равно:

$$M_B = M_A - k = \sum_1^i \sum_1^m n_{N_m}^{(i)} - k, \quad (4.24)$$

где k – число сообщений (столбцов матрицы **A**), не вошедших в матрицу **B** по результатам объединения.

Пусть сообщение от источника $r (r \in \{1, q\})$ с некоторым номером трассы $n_{N_l}^r$, выдаваемой r -м источником, и признаком ранее обнаруженного объекта поступает на сервер, на котором имеются данные об этой трассе. Проведем поиск столбца по номеру трассы и номеру источника в строках матриц **A** и **C**, содержащих эти данные. Наличие совпадения указывает на необходимость обновления соответствующего столбца в матрицах **A** и **C**. После обновления матриц **A** и **C**, если в соответствующем столбце матрицы **C**, показывающем результат объединения сообщений, значения элементов данных равны единице, то производится поиск и обновление данных в результирующей матрице **B**. Если же значения элементов равны нулю, то данных по этому объекту в матрице **B** не будет, так как в результате объединения данные по нему не вошли в результирующую матрицу. В этом случае, если от источника r выдавались сообщения с номером трассы $n_{N_l}^r$, то в результирующей матрице **B** данных от источника r также не будет.

Подобным образом происходит обновление матриц сервера по другим видам признаковой информации. Для этого в исходную матрицу **A**, исходную булеву матрицу **C** и результирующую матрицу **B** снизу вводятся строки, которые содержат информацию о классе воздушного объекта и о его государственной принадлежности:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & \dots & x_1^{(m)} & \dots & x_{N_m}^{(m)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & \dots & y_1^{(m)} & \dots & y_{N_m}^{(m)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & \dots & z_1^{(m)} & \dots & z_{N_m}^{(m)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(m)} & \dots & V_{x_{N_m}}^{(m)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(m)} & \dots & V_{y_{N_m}}^{(m)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(m)} & \dots & V_{z_{N_m}}^{(m)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & \dots & n_1^{(m)} & \dots & n_{N_m}^{(m)} \\ f_1^{(1)} & \dots & f_{N_1}^{(1)} & \dots & f_1^{(m)} & \dots & f_{N_m}^{(m)} \\ g_1^{(1)} & \dots & g_{N_1}^{(1)} & \dots & g_1^{(m)} & \dots & g_{N_m}^{(m)} \end{pmatrix}. \quad (4.25)$$

Элементы строки f матрицы $\mathbf{A}(f_1^{(1)}, f_2^{(1)}, \dots, f_{N_m}^{(m)})$ принимают значения в соответствии с информацией опознавания, а элементы строки g матрицы $\mathbf{A}(g_1^{(1)}, g_2^{(1)}, \dots, g_{N_m}^{(m)})$ – признака класса объекта. При обработке с использованием признаковой информации соответствующие строки должны быть добавлены в матрицы \mathbf{B} и \mathbf{C} .

Для повышения качества РЛИ и уменьшения времени обработки может использоваться и другая признаковая информация, имеющаяся в сообщениях.

Разработанный частный способ обработки повторных сообщений позволяет производить обновление информации в матрицах сервера, не привлекая этап объединения, что существенно сокращает время обработки и обновления информации в матрицах сервера. Вычисления с использованием матриц дают дополнительный выигрыш в сокращении времени обработки по сравнению с методом поэлементного поиска и замены.

4.3 Обработка повторных сообщений при нарушениях в работе линии передачи данных

Вполне вероятно возникновение ситуации, в которой при обработке на сервере сообщений по признаковой информации, одно или несколько сообщений будут пропущены по причине нарушений в работе линии передачи данных. В этом

случае информация в матрицах сервера **A**, **B**, **C** не будет своевременно обновляться. Вместе с тем, на сервере могут находиться данные о пропущенных объектах от других источников, хранящиеся в исходной матрице **A** и периодически обновляемые. Однако они не входят в результирующую матрицу **B** сервера по результатам решения задачи объединения. Предположим, что данные об объекте № 1, поступившие от источника № 1, объединены с данными об объекте № 1, поступившими от источника № 2. При этом полагаем, что источник № 2 точнее измеряет координаты. Тогда в результирующую матрицу **B** войдут данные только от источника № 2. Предположим, что данные от источника № 2 перестали поступать. Для избежания перерыва в передаче РЛИ потребителям, нужно заменить в результирующей матрице **B** сервера данные об объекте № 1 от источника № 2, данными о нем от источника № 1. Для этого необходима разработка частного способа обработки РЛИ на сервере для случая, когда не происходит обновления РЛИ.

Введем булеву матрицу **D**, которую назовем матрицей состояния сервера. Расположение элементов в матрице **D** определяется порядковыми номерами столбцов матрицы **A** с учетом результатов объединения. Матрица **D** формируется в соответствии со следующим правилом:

$$\mathbf{D}_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } i = r, j = j^{(A)} \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (4.26)$$

где i – номер строки в матрице **D**; j – номер столбца матрицы **D**; r – порядковый номер столбца матрицы **A** для случая, когда данные с признаком «Новая трасса», содержащиеся в этом столбце, участвуют в объединении в соответствии с п. 2.4.4; $j^{(A)}$ – порядковый номер столбца матрицы **A**, содержащий данные об объекте, которые по результатам объединения не входят в результирующую матрицу сервера.

Матрица состояния **D** не содержит РЛИ. Её элементы содержат информацию о номерах столбцов и источников, по которым проводилось объединение информации, и номера столбцов и источников. Когда выбранный по наилучшему СКО координат источник перестал выдавать информацию по конкретному объекту, его необходимо заменить на источник, от которого поступает информация, не проводя

Проведенные рассуждения показывают, что при формировании результирующей матрицы **V** сервера этап объединения РЛИ не проводился.

В дальнейшем при поступлении РЛИ от источников на сервер внесение изменений в матрицу состояния **D** происходит в том случае, когда данные поступают с признаком нового сообщения. Далее происходит объединение РЛИ, если количество объектов, участвующих в объединении, более двух.

Структурная схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера при нарушениях в работе линии связи представлена на рисунке 4.7.

На рисунке обозначены: **A** – исходная матрица сервера; **C** – исходная булева матрица сервера; **C₁** – промежуточная булева матрица сервера, учитывающая результаты объединения; **V₁** – промежуточная результирующая матрица сервера; **C₂** – булева матрица сервера с нулевым столбцом, который подлежит исключению; **D** – матрица состояния сервера, элементы которой содержат информацию о номерах столбцов и источников РЛИ, по которым прошло объединение информации, а также номера столбцов и источников, принадлежащие сообщениям, которые участвовали в этапе объединения; **E_B** – промежуточная булева матрица сервера с результатами объединения; **V** – результирующая матрица сервера.



Рисунок 4.7 – Структурная схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера при нарушениях в работе линии связи

Отметим, что при восстановлении канала связи и возобновлении передачи РЛИ по этому каналу от РЛС на сервер, если сообщение по-прежнему содержит информацию о ранее обнаруженном воздушном объекте, то в матрицах A и C сервера не будет столбца с предыдущими данными об этом объекте. В этом случае объединение РЛИ должно проводиться в соответствии с этапом объединения РЛИ на сервере, подобно случаю поступления сообщения о вновь обнаруженном объекте. То есть обратная замена данных о воздушном объекте от источника при восстановлении канала передачи данных в этом случае должна производиться в соответствии с этапом объединения.

Следует отметить, что наличие признаков потери устойчивого сопровождения РЛС также является командой на поиск и замещение данных на сервере от этой

РЛС данными, поступающими от других источников, обеспечивающих устойчивое сопровождение.

Таким образом, разработан алгоритм обработки данных о ранее обнаруженных объектах при нарушениях в работе линии связи, позволяющий осуществлять восстановление радиолокационной информации в матрицах сервера без использования этапа объединения. Применение этого алгоритма существенно сокращает время обработки и обновления РЛИ на сервере сетевой структуры.

4.4 Представление РЛИ, поступающей от нескольких источников

Рассмотрим более общий случай, когда от m источников поступает информация о p воздушных объектах, а также случай, когда происходит пропадание k объектов от части $s < m$ источников.

Так же, как показано в (4.25), сформируем исходную матрицу сервера \mathbf{A} , содержащую РЛИ, поступающую от m -источников.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & \dots & x_1^{(m)} & \dots & x_{N_m}^{(m)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & \dots & y_1^{(m)} & \dots & y_{N_m}^{(m)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & \dots & z_1^{(m)} & \dots & z_{N_m}^{(m)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(m)} & \dots & V_{x_{N_m}}^{(m)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(m)} & \dots & V_{y_{N_m}}^{(m)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(m)} & \dots & V_{z_{N_m}}^{(m)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & \dots & n_1^{(m)} & \dots & n_{N_m}^{(m)} \\ f_1^{(1)} & \dots & f_{N_1}^{(1)} & \dots & f_1^{(m)} & \dots & f_{N_m}^{(m)} \\ g_1^{(1)} & \dots & g_{N_1}^{(1)} & \dots & g_1^{(m)} & \dots & g_{N_m}^{(m)} \end{pmatrix}. \quad (4.36)$$

Количество дополнительных строк матрицы \mathbf{A} определяется количеством признаков, которые планируется использовать при обработке. Пусть их будет три – номер трассы, класс воздушного объекта и признак государственной принадлежности. Неявно выраженным будет являться четвертый признак – номер источника,

который определяется по принадлежности к конкретной группе сообщений от одного источника. Здесь матрица \mathbf{A} размера $l_{\text{пр}} \times M$, где $M = \sum_{i=1}^m N_i$ – число сообщений, содержащихся в матрице \mathbf{A} ; $l_{\text{пр}}$ – число координат, составляющих скоростей и признаков, поступающих в кодограмме; $n_1^i, n_{N_i}^i$ – номера первой и последней трасс, присвоенные i -м источником ($i = \overline{1, m}$) в системе собственной нумерации РЛС. Элементы $f_1^{(1)}, \dots, f_{N_m}^{(m)}$ матрицы \mathbf{A} определяют значения индивидуального номера объекта по результатам работы запросчика соответствующей РЛС, а элементы матрицы $g_1^{(1)}, \dots, g_{N_m}^{(m)}$ – признак класса летательного аппарата.

На сервере формируются следующие матрицы:

– исходная булева матрица

$$\mathbf{C} = \|\|C_{ij}\|\| \quad (4.37)$$

размера $l_{\text{пр}} \times M$, элементы которой $C_{ij} = \overline{0, 1}$, причем $C_{ij} = 1$ при условии, что данные из J_j сообщения не подвергались объединению или оно выбрано как сообщение с лучшим СКО координат, и $C_{ij} = 0$ – в противном случае;

– матрица состояния сервера

$$\mathbf{D} = \|\|D_{iu}\|\|, \quad (4.38)$$

где i – число строк матрицы \mathbf{D} , равно числу столбцов матриц \mathbf{A} или \mathbf{C} , u – число столбцов матрицы \mathbf{D} , равно числу единичных столбцов матрицы \mathbf{C} . Правило формирования матрицы состояния \mathbf{D} приведено ранее;

– результирующая матрица сервера

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} x_{h_q}^{(q)} & \dots & x_{H_q}^{(q)} & \dots & x_{h_Q}^{(Q)} & \dots & x_{H_Q}^{(Q)} \\ y_{h_q}^{(q)} & \dots & y_{H_q}^{(q)} & \dots & y_{h_Q}^{(Q)} & \dots & y_{H_Q}^{(Q)} \\ z_{h_q}^{(q)} & \dots & z_{H_q}^{(q)} & \dots & z_{h_Q}^{(Q)} & \dots & z_{H_Q}^{(Q)} \\ V_{h_q}^{(q)} & \dots & V_{x_{H_q}^{(q)}} & \dots & V_{x_{h_Q}^{(Q)}} & \dots & V_{x_{H_Q}^{(Q)}} \\ V_{y_{h_q}^{(q)}} & \dots & V_{y_{H_q}^{(q)}} & \dots & V_{y_{h_Q}^{(Q)}} & \dots & V_{y_{H_Q}^{(Q)}} \\ V_{z_{h_q}^{(q)}} & \dots & V_{z_{H_q}^{(q)}} & \dots & V_{z_{h_Q}^{(Q)}} & \dots & V_{z_{H_Q}^{(Q)}} \\ n_{h_q}^{(q)} & \dots & n_{H_q}^{(q)} & \dots & n_{h_Q}^{(Q)} & \dots & n_{H_Q}^{(Q)} \\ f_{h_q}^{(q)} & \dots & f_{H_q}^{(q)} & \dots & f_{h_Q}^{(Q)} & \dots & f_{H_Q}^{(Q)} \\ g_{h_q}^{(q)} & \dots & g_{H_q}^{(q)} & \dots & g_{h_Q}^{(Q)} & \dots & g_{H_Q}^{(Q)} \end{pmatrix}, \quad (4.39)$$

в которой, в общем случае, число столбцов (сообщений, имеющих в текущий момент времени на сервере), не равно числу столбцов в матрице \mathbf{A} , так как в результате объединения информация о некоторых объектах не попадает в матрицу \mathbf{B} . Это рассуждение справедливо и для количества источников матрицы \mathbf{B} .

Матрица \mathbf{B} имеет размер $l_{\text{пр}} \times M_B$, где $M_B = \sum_q^Q N_q$ – число сообщений об объектах, находящихся в матрице \mathbf{B} ; N_q – число сообщений, поступающих от q -го источника ($q = \overline{1, Q}$, $q \leq m$) и содержащихся в матрице \mathbf{B} ; $h_q \dots H_Q$ – номера трасс, выдаваемые q -м источником; q – порядковый номер источника в матрице \mathbf{B} и число источников, РЛИ от которых содержится в матрице \mathbf{B} .

В случае нарушений в работе линии связи число сообщений, поступающих на сервер, а следовательно, и столбцов в матрице \mathbf{A} уменьшится на число сообщений о воздушных объектах k , не поступивших на сервер в соответствии с установленным периодом обновления РЛИ.

В результате обработки РЛИ для случая пропадания k сообщений от s источников, уменьшение числа сообщений (столбцов в результирующей матрице сервера \mathbf{B}) может принимать значение (в зависимости от результатов объединения, сохраняемых в матрице состояния \mathbf{D}) от нуля до k

$$\Delta M_B = M_B - k. \quad (4.40)$$

Выражения (4.36), ..., (4.40) показывают формирование и изменение объема РЛИ на сервере в процессе её обработки. Матрица **В** содержит обработанную информацию от всех источников. Она может быть выдана на вышестоящий пункт управления, конкретному потребителю по прямому каналу передачи данных или храниться и обновляться в сетевой информационной структуре для использования любыми потребителями. Изменения в матрице **В** могут происходить всякий раз, когда на сервер поступает любое сообщение от источников.

В соответствии с установленными исходными данными на сервер поступает РЛИ с заданным темпом обновления от определенного числа источников. Каждый источник РЛИ имеет, как правило, строго определенную производительность. При этом высока вероятность того, что потребители с ограниченной производительностью не смогут обработать всю выдаваемую с сервера информацию. Поэтому возникает задача отбора обработанной на сервере и имеющейся в сети РЛИ для выдачи её потребителю. Решение этой задачи рассматривается ниже.

4.5 Отбор РЛИ для выдачи потребителю

Предположим, что от потребителя поступил запрос на получение радиолокационной информации с сервера сетевой информационной системы. Этот запрос содержит следующий перечень востребованных характеристик и параметров:

- зона пространства, в пределах которой потребителю необходима РЛИ для решения определенных задач (задается координатами сектора или другой области пространства, оговоренной в протоколах функционального взаимодействия);
- признаки получаемой РЛИ по типу воздушного объекта, с определенными скоростями полета (например, не более или/и не менее скоростей, указанных в заявке потребителя);
- темп обновления РЛИ, выдаваемой потребителю (при этом на различных этапах функционирования требования к качеству РЛИ потребителем могут изменяться).

В качестве исходных условий примем следующие:

– на сервере хранится информация, представленная в результирующей матрице **B**;

– координаты источников РЛИ и потребителей известны.

Необходимо сформировать массив данных для выдачи потребителю в соответствии с его запросом.

Рассмотрим требования потребителя, отражаемые в заявке, подаваемой на сервер, подробнее. При этом будем учитывать ряд факторов.

Во-первых, формирование трассовой информации может осуществляться несколькими способами:

– выбора РЛИ от одного источника (например, по наименьшему СКО измерения координат);

– сглаживания траекторий по определенному воздушному объекту от всех источников при фиксированном темпе выдачи РЛИ;

– сглаживания траекторий по определенному воздушному объекту от всех источников при темпе выдачи в соответствии с обновлением РЛИ (в общем случае темп выдачи РЛИ потребителю и темп обновления от источников не совпадают).

Во-вторых, темп обновления РЛИ по отобранным для потребителя объектам может устанавливаться также несколькими способами:

– по умолчанию (например, 10 с);

– по обновлению РЛИ (в соответствии с порядком поступления от РЛС);

– по требованию потребителя;

– по указанию, поступающему с вышестоящего пункта управления.

В-третьих, требуемая вероятность правильного объединения информации может задаваться:

– по умолчанию (например, $P_{объед} = 0,997$ по одной из координат);

– с вышестоящего пункта управления;

– потребителем РЛИ.

В соответствии с постановкой задачи, потребителем может быть востребована либо вся РЛИ, поступающая на сервер, либо только её часть. В том случае, когда требуется вся РЛИ, имеющаяся на сервере, потребителю передаётся полное

содержание результирующей матрицы сервера в реальном масштабе времени и её последующие обновления. Для выполнения специфических требований каждого потребителя необходимо разработать порядок отбора РЛИ из результирующей матрицы сервера в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Порядок отбора РЛИ потребителям должен:

- обеспечивать сокращение общего количества РЛИ, передаваемой потребителю и в систему связи и передачи данных для снижения загрузки системы в целом;
- обеспечивать отбор источников РЛИ, выдающих информацию требуемого качества.

После обработки РЛИ на сервере в реальном масштабе времени для каждого потребителя формируются и обновляются массивы данных в соответствии с поданными ранее заявками.

При наличии более одного источника и, соответственно, более одного сообщения по одному и тому же объекту обработка на сервере позволяет уменьшить трафик в системе связи и нагрузку на вычислительный комплекс потребителя за счет отбора информации.

Предположим, что потребитель, подключенный к серверу по прямому каналу передачи данных, задал требования к информации. Сформируем матрицы требований потребителя $\mathbf{E}_{п1}$ и $\mathbf{E}_{п2}$, в которых указаны пространственная зона отбора, скоростные характеристики, а также признаковая и другая информация (тип объекта, темп получения информации, способ формирования трассовой РЛИ и вероятность объединения).

$$\mathbf{E}_{п1} = \left\| \begin{array}{cc} x_{min} & x_{max} \\ y_{min} & y_{max} \\ z_{min} & z_{max} \\ V_{x_{min}} & V_{x_{max}} \\ V_{y_{min}} & V_{y_{max}} \\ V_{z_{min}} & V_{z_{max}} \end{array} \right\| \quad (4.41)$$

$$\mathbf{E}_{п2} = \begin{pmatrix} T \\ S_{\phi} \\ P \\ T_{B30} \end{pmatrix}. \quad (4.42)$$

В матрице $\mathbf{E}_{п1}$ задается зона пространства и диапазон составляющих скоростей полета. В матрице $\mathbf{E}_{п2}$ задаются значения признаковой и другой информации: T – темп выдачи; S_{ϕ} – способ формирования трасс; P – требуемая вероятность правильного объединения; T_{B30} – тип или класс воздушного объекта.

Пусть имеется результирующая матрица сервера \mathbf{B} , которая имеет вид:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} x_{h_q}^{(q)} & \dots & x_{H_q}^{(q)} & \dots & x_{h_q}^{(Q)} & \dots & x_{H_q}^{(Q)} \\ y_{h_q}^{(q)} & \dots & y_{H_q}^{(q)} & \dots & y_{h_q}^{(Q)} & \dots & y_{H_q}^{(Q)} \\ z_{h_q}^{(q)} & \dots & z_{H_q}^{(q)} & \dots & z_{h_q}^{(Q)} & \dots & z_{H_q}^{(Q)} \\ V_{x_{h_q}}^{(q)} & \dots & V_{x_{H_q}}^{(q)} & \dots & V_{x_{h_q}}^{(Q)} & \dots & V_{x_{H_q}}^{(Q)} \\ V_{y_{h_q}}^{(q)} & \dots & V_{y_{H_q}}^{(q)} & \dots & V_{y_{h_q}}^{(Q)} & \dots & V_{y_{H_q}}^{(Q)} \\ V_{z_{h_q}}^{(q)} & \dots & V_{z_{H_q}}^{(q)} & \dots & V_{z_{h_q}}^{(Q)} & \dots & V_{z_{H_q}}^{(Q)} \\ n_{h_q}^{(q)} & \dots & n_{H_q}^{(q)} & \dots & n_{h_q}^{(Q)} & \dots & n_{H_q}^{(Q)} \\ f_{h_q}^{(q)} & \dots & f_{H_q}^{(q)} & \dots & f_{h_q}^{(Q)} & \dots & f_{H_q}^{(Q)} \\ g_{h_q}^{(q)} & \dots & g_{H_q}^{(q)} & \dots & g_{h_q}^{(Q)} & \dots & g_{H_q}^{(Q)} \end{pmatrix}. \quad (4.43)$$

Введем выходную матрицу потребителя \mathbf{F} . Формирование матрицы \mathbf{F} из результирующей матрицы сервера \mathbf{B} для сокращения времени обработки будем производить в следующей последовательности методом поэлементного поиска:

- если информация выдавалась потребителю ранее – проводим отбор по признаку государственной принадлежности;
- при наличии признака класса проводим отбор по классам объектов;
- при отсутствии первого признака проводим отбор по номерам трасс и номерам источников;
- проводим отбор информации по зоне пространства и с учетом диапазона составляющих скоростей полета;

– исходя из заявленного потребителем темпа и способа сглаживания трасс, выбираем способ выдачи РЛИ потребителю.

Следует отметить, что отбор информации по признаку государственной принадлежности особенностей не имеет. Отбор информации по классам объектов производится в соответствии с требованиями потребителя, содержащимися в матрице $\mathbf{E}_{п2}$, по данным строки матрицы \mathbf{B} с элементами $g_{h_q}^{(q)}, \dots, g_{H_q}^{(Q)}$ матрицы \mathbf{B} , содержащей информацию о классе объекта.

В результате отбора для потребителя из матрицы \mathbf{B} с учетом критериев, содержащихся в матрице $\mathbf{E}_{п2}$, формируем выходную булеву матрицу потребителя \mathbf{C}_{F1} :

$$\mathbf{C}_{F1} = \|\| \mathbf{C}_{F1ij} \|\|, \quad (4.44)$$

где $\mathbf{C}_{F1ij} = \overline{0,1}$, причем $\mathbf{C}_{F1ij} = 1$ при условии, что класс объекта в матрице \mathbf{B} соответствует классу, заданному в матрице $\mathbf{E}_{п2}$, и $\mathbf{C}_{F1ij} = 0$ – в противном случае.

Сформируем промежуточную выходную матрицу потребителя \mathbf{F}_1 , которая вычисляется как произведение Адамара-Шура результирующей матрицы \mathbf{B} и выходной булевой матрицы \mathbf{C}_{F1} потребителя:

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{B} \otimes \mathbf{C}_{F1}. \quad (4.45)$$

Нулевые столбцы и столбцы, содержащие элементы с нулевыми значениями, удаляются из выходной матрицы потребителя \mathbf{F}_1 в соответствии с ранее полученными выражениями (4.17), (4.18).

Отбор по зоне пространства и составляющим скоростей полета производится последовательным сравнением элементов строк матрицы \mathbf{B} с минимальным и максимальными значениями координат зоны пространства, а также со значениями составляющих скоростей, то есть проверяются условия

$$x_{min} \leq x_{h_q}^{(q)}, \dots, x_{H_q}^{(Q)} \leq x_{max} \quad (4.46)$$

$$y_{min} \leq y_{h_q}^{(q)}, \dots, y_{H_q}^{(Q)} \leq y_{max}, \quad (4.47)$$

$$z_{min} \leq z_{h_q}^{(q)}, \dots, z_{H_q}^{(Q)} \leq z_{max}, \quad (4.48)$$

$$V_{x_{min}} \leq V_{x_{h_q}}^{(q)}, \dots, V_{x_{H_q}}^{(Q)} \leq V_{x_{max}} \quad (4.49)$$

$$V_{y_{min}} \leq V_{y_{h_q}}^{(q)}, \dots, V_{y_{H_q}}^{(Q)} \leq V_{y_{max}}. \quad (4.50)$$

$$V_{z_{min}} \leq V_{z_{h_q}}^{(q)}, \dots, V_{z_{H_q}}^{(Q)} \leq V_{z_{max}} \quad (4.51)$$

В результате отбора из матрицы \mathbf{B} для потребителя по критериям (4.46)...(4.51) формируем выходную булеву матрицу потребителя \mathbf{C}_F :

$$\mathbf{C}_F = \|\| C_{F_{ij}} \|\|, \quad (4.52)$$

где $C_{F_{ij}} = \overline{0,1}$, причем $C_{F_{ij}} = 1$ при условии, что соответствующая координата или составляющая скорости попадает в соответствующий интервал (4.46)...(4.51), и $C_{F_{ij}} = 0$ – в противном случае.

Выходная матрица потребителя \mathbf{F} формируется в результате произведения Адамара-Шура [33] результирующей матрицы \mathbf{B} сервера и выходных булевых матриц \mathbf{C}_F и \mathbf{C}_{F1} потребителя:

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \otimes \mathbf{C}_F \otimes \mathbf{C}_{F1}. \quad (4.53)$$

Нулевые столбцы и столбцы, содержащие элементы с нулевыми значениями, удаляются из выходной матрицы потребителя \mathbf{F} в соответствии с выражениями (4.17), (4.18).

Рисунок 4.8 показывает структурную схему алгоритма формирования выходной матрицы потребителя.

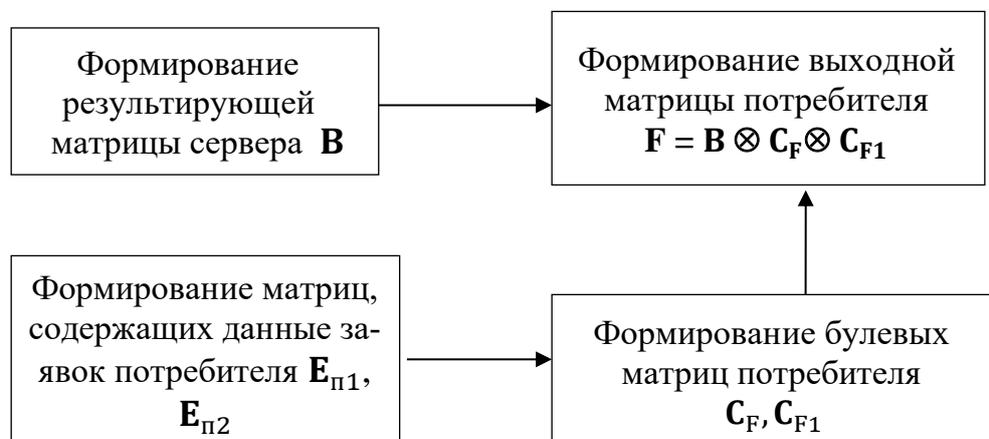


Рисунок 4.8 – Структурная схема алгоритма формирования выходной матрицы потребителя

Данные в результирующей матрице **В** сервера обновляются по мере поступления сообщений от источников. Отбор по номерам трасс и номерам источников производится в соответствии с методикой обработки ранее поступавших сообщений. Для формирования выходной матрицы потребителя **Г** для выдачи РЛИ конкретному потребителю в качестве исходной берется результирующая матрица сервера **В**.

Заметим также, что в общем случае темп обновления РЛИ на сервере АСООИ может быть непериодическим. Такая ситуация может быть неприемлема для потребителей, имеющих КСА или другие автоматизированные средства обработки РЛИ, в которых реализованы периодические алгоритмы. В этом случае потребитель может задать требуемый темп обновления РЛИ, выдаваемой с сервера. Обеспечение темпа обновления, заданного потребителем, достигается экстраполяцией траекторий, время обновления которых в результирующей матрице сервера не совпадает с требуемым потребителем темпом обновления информации.

Обновление информации, содержащейся в результирующей матрице **В** сервера, означает, что в результирующей матрице сервера находятся данные от наилучшего по качеству РЛИ источника на данный момент времени. Эта информация обновляется с периодом поступления сообщений от этого источника. Поскольку РЛИ является вторичной, то трассы сглажены на РЛС и в случае необходимости на сервере может потребоваться только экстраполяция траектории на момент выдачи потребителю.

Отметим, что может возникнуть ситуация, в которой по причине кратковременных пропаданий РЛИ в каналах передачи данных сообщения об одном и том же объекте будут попеременно появляться в матрице **В** от нескольких источников. В этом случае необходимо проводить сглаживание и экстраполяцию трасс на сервере и только после этого выдавать РЛИ потребителю.

Требования, формируемые в соответствующей матрице, могут быть заданы потребителем, а также установлены по умолчанию для определенных типов потребителей. Предусмотренная вариантность задания требований позволяет обеспечивать обмен РЛИ с разными типами КСА. Обмен информацией между АСООИ и

потребителем производится по прямым каналам передачи данных. Конвертация протоколов, логическое и физическое сопряжения обеспечивают шлюзы, входящие в состав терминалов. Вместе с этим, обеспечивается возможность выдачи РЛИ в сетевую информационную структуру, что расширяет возможности информационной системы в целом, позволяя получать РЛИ в реальном масштабе времени любым заинтересованным в ней потребителям в соответствии со степенью допуска к информации.

4.6 Результаты моделирования представления радиолокационных данных в виде матриц и операций над ними в алгоритме сетевой обработки [75, 76, 165, 166]

Синтезируем из блок-схемы алгоритма сетевой обработки схему укрупненного алгоритма обработки (рис. 4.9), в котором выделим действия с массивами данных, которые впоследствии можно будет представить матрицами. На этом рисунке показаны четыре основных ветви алгоритма. Сообщение по одному воздушному объекту представляется в виде столбца матрицы, элементы которой соответствуют координатам и составляющим скоростей воздушных объектов.

Ветви построены по логическому принципу «или», то есть при обработке одного сообщения, от поступления до выдачи информации, выполняется только одна из ветвей. При моделировании операции по замене столбцов-сообщений, операции предварительного отбора осуществлялись методом поэлементного поиска и замены соответствующего столбца.

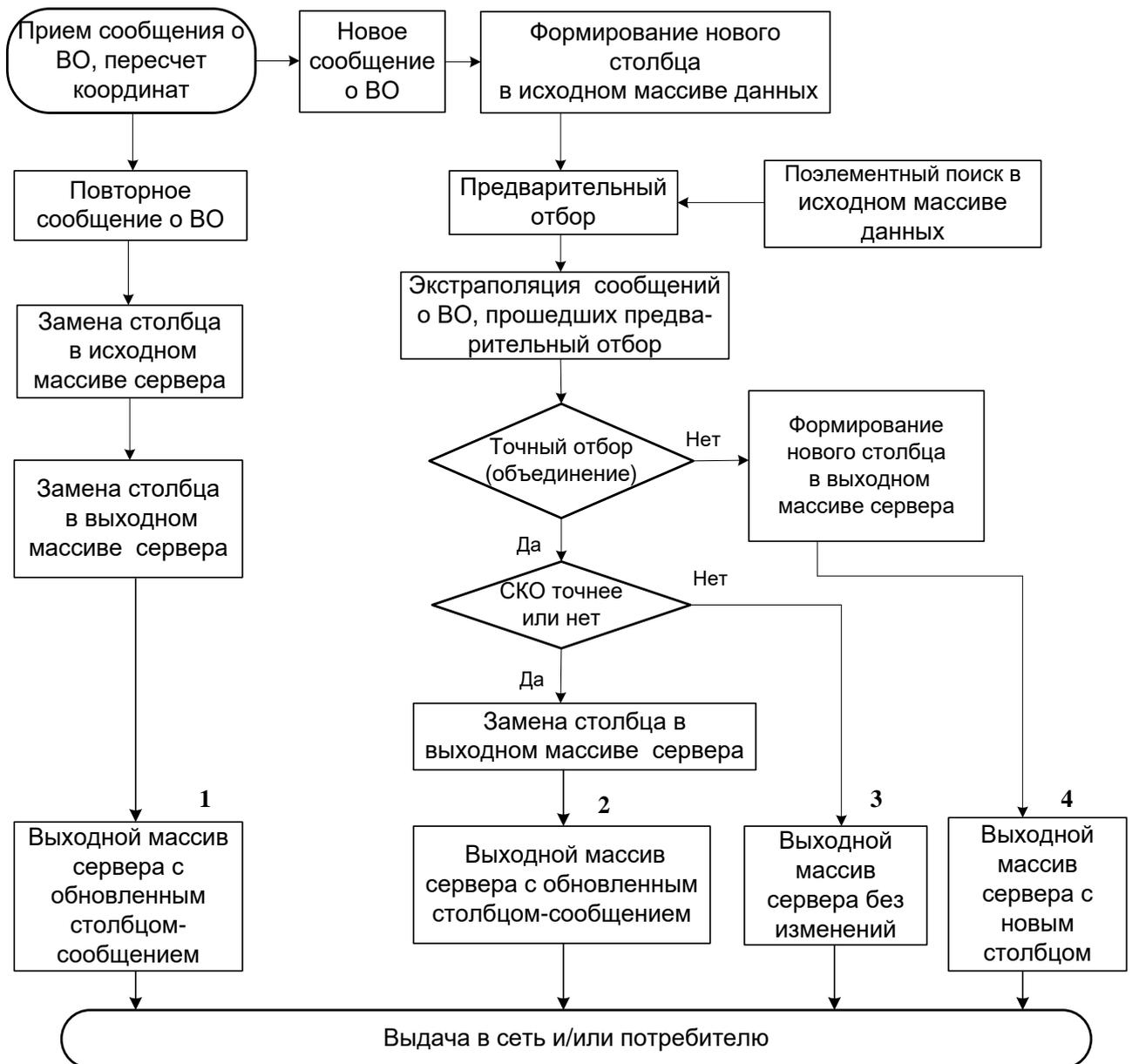


Рисунок 4.9 –Схема укрупненного алгоритма сетевой обработки

В компьютере использовался традиционный способ организации вычислений – последовательный. Если входные и выходной массив сервера представить матрицами, то для проведения операций замены формируется соответствующая последовательность операций с матрицами сервера.

Очевидно, что не все операции с матрицами будут оптимальны с точки зрения организации вычислительного процесса и использования вычислительного ресурса. Так, при формировании вспомогательных матриц по замене столбца требуется значительно больше вычислительных ресурсов, чем при поэлементной замене.

Вероятно, достижение оптимального времени обработки возможно несколькими комбинированными способами: сочетание способов обработки по различным операциям с заменой с помощью матриц и поэлементного поиска; применение параллельных вычислений; поиск других видов матриц, более приспособленных к подобным вычислениям, и других оптимальных способов организации вычислений. Динамические массивы данных, примененные при моделировании, имеют достаточно большой объем, порядка нескольких тысяч сообщений о воздушных объектах.

Моделирование проводилось на ЭВМ с процессором Intel I7 и тактовой частотой 3.4 ГГц на каждое из 4-х ядер, в пакете MatLab R2015a. Осуществлялось сравнение по времени выполнения двух процедур формирования результирующей матрицы сервера из исходной матрицы сервера – методом поэлементного поиска и замены, и методом с применением матриц.

Первая процедура содержала два этапа. На первом этапе производился поиск методом последовательного поэлементного поиска того столбца в исходном и выходном (результирующем) массиве сервера (рис. 4.9, ветви алгоритма 1, 2, 4), который подлежит замене. На втором этапе производилась замена этого столбца из шести элементов (координаты и составляющие скоростей ВО) на обновленные значения также путем последовательного присвоения значений элементам массива данных.

Вторая процедура (рис. 4.9, также соответствует ветвям алгоритма 1, 2, 4) производилась в соответствии с алгоритмами, содержащими действия с матрицами. Для сокращения времени при выполнении операции матричного перемножения $\mathbf{B}_1\mathbf{E}_2$ учитывалось наличие в матрицах большого числа нулевых значений с целью сокращения времени обработки. Поэлементные произведения, имеющие хотя бы один нулевой множитель, не выполнялись, но при помощи логических операций результат произведений был учтен в общей статистике.

Каждая процедура по времени выполнения фиксировалась командами «tic» и «toc» в микросекундах (аналог команд «старт» и «стоп» в начале и конце измеряе-

мого промежутка времени). График зависимости времени, затраченного на обработку, от числа обновляемых ВО в результирующей матрице сервера, приведен на рисунке 4.10. По условиям моделирования информация поступала от трех источников РЛИ.

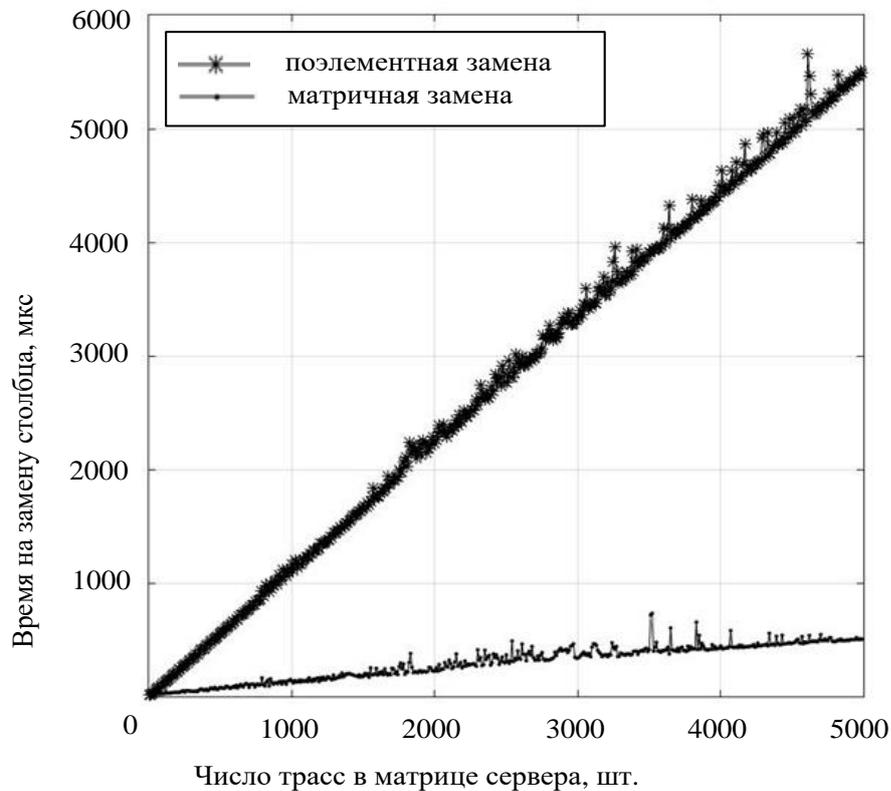


Рисунок 4.10 – Зависимость времени обработки массивов данных от числа обрабатываемых трасс ВО, полученная методами поэлементной и матричной замены по ветвям алгоритма 1, 2 и 4

Анализ рисунка 4.10 показывает, что время обработки массивов данных разными способами при относительно небольшом числе сопровождаемых воздушных объектов (200-300) отличается незначительно. Для большинства существующих РЛС это число сопровождаемых воздушных объектов является типовым. Графики, приведенные на рисунке 4.10, также показывают, что при достаточно малом числе трасс нет необходимости применять алгоритмически более сложный метод матричной замены сообщений в массивах данных сервера. Однако, с увеличением числа объектов свыше 500 наблюдается значительное отличие во времени обработки ме-

тодом поэлементного поиска и методом, использующим матрицы. Значимый выигрыш во времени обработки, а следовательно, и в вычислительном ресурсе, наблюдается после увеличения числа обрабатываемых трасс от 1000 и более.

Ветвь 3 алгоритма сетевой обработки использует только поэлементный поиск при предварительном отборе, матрицы сервера не изменяются, поэтому результаты моделирования показывают одинаковое время обработки для обоих способов (рис. 4.11).

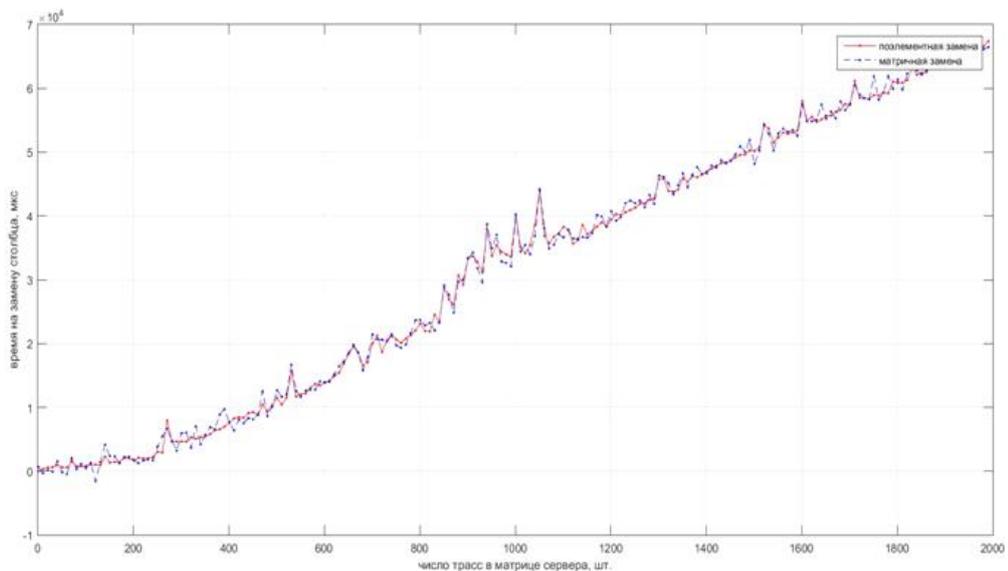


Рисунок 4.11 – Зависимость времени обработки массивов данных от числа обрабатываемых трасс ВО по ветви 3 алгоритма сетевой обработки

Выводы по разделу 4

1. Разработаны алгоритмы обработки сообщений о воздушных объектах, поступающих на сервер информационной системы сетевой структуры и содержащих РЛИ с различными признаками. Методика обработки сообщений о ВО с признаком «Новая трасса» позволяет осуществлять обработку РЛИ на сервере с использованием алгоритма объединения. Алгоритмы обработки кодограмм ВО, поступающих на сервер и содержащих РЛИ с признаком «Обновление» и признаком «Обновление» при выходе из строя канала связи не предполагают применения алгоритма объединения, что существенно сокращает время обработки, обновления и восстановления РЛИ на сервере.

2. Разработан алгоритм отбора РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры для выдачи потребителю, которая позволяет на основе заявок потребителей формировать массивы данных в виде матриц, содержащие обработанную РЛИ, поступающую от источников и передавать потребителям эти массивы в реальном масштабе времени.

3. В целом разработан математический аппарат обработки РЛИ на основе теории матричной алгебры, позволяющий обеспечить сбор, хранение, обработку, обновление РЛИ по различным признакам, выдачу потребителям РЛИ с требуемыми потребителями значениями вероятности объединения, темпа обновления и другими характеристиками. Локационные данные в информационной системе представлены в виде однородного динамического массива, формирование и обновление которого обеспечивается распределенным векторным вычислителем, элементы которого расположены в узлах информационной системы. Функционал векторного вычислителя составляет совокупность методов и реализованных на их основе алгоритмов обработки и обмена локационной информации. Синхронизация массива и обработка локационной информации производится в соответствии с данными системы единого времени, вносимыми в каждое сообщение в виде времени локации.

4. Математический аппарат позволяет обрабатывать большое количество данных о ВО (порядка нескольких десятков тысяч трасс) на сервере, не прибегая к поэлементному перебору значений данных о ВО в массивах. Проведено сравнительное математическое моделирование процессов обработки РЛИ методами поэлементного перебора и матричной замены. Выявлено преимущество метода матричной замены во времени обработки при наличии в обработке сообщений (трасс) об объектах свыше 1000.

ГЛАВА 5. НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ОБМЕНА ЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ. АЛГОРИТМЫ СИСТЕМНОГО УРОВНЯ

В главе 5 проанализированы новые возможности перспективной информационной системы полносвязной сетевой структуры, в частности, применение абсолютных координат, использование нового метода обработки информации – агрегирования, проведено сравнение информационных систем иерархической и сетевой структур на предмет величины времени нахождения информации в системе с точки зрения временных задержек и с точки зрения информационной энтропии. Разработаны предложения по построению информационных систем сетевой структуры на основе объединения «дейтацентрических» объектов [70, 71, 77, 78, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 79, 170, 171, 172, 173, 208]. Раздел продолжает этап 3 метода сквозного синтеза – синтез общего решения, и частично затрагивает вопросы этапа 4-го – синтез частного решения.

Разработанные в последние годы методы обобщения информации, в частности метод агрегирования [46, 47], позволяют применить их в информационной системе сетевой структуры, что снижает степень информационной перегрузки и существенно увеличивает эффективность радиолокационной системы. Наличие алгоритмов агрегирования дает возможность получать обобщенную картину обстановки, вскрывать замысел противника.

Современные методы и алгоритмы управления обменом информацией в сетях могут реализовывать возможности, которые не были присущи информационным системам ранее. Например, изменение протоколов представления РЛИ из сети в зависимости от требований потребителей, формирование логической структуры сети (иерархическая, сетевая, комбинированная) в зависимости от складывающейся помеховой обстановки, информационной перегрузки и другие. Свойства сетевой структуры и свойства алгоритма сетевой обработки приводят к новым возможностям системы, придают информационным системам сетевой структуры определенную адаптивность.

5.1 Значение и роль привязки координатной составляющей сообщений о воздушных объектах к источникам

При создании сетцентрической системы одной из основных задач является «отделение данных от источников» [57, 63], то есть выполнение условий для индифферентности сети к адресации данных и инвариантности сети к принадлежности данных определенному источнику. Эти процедуры позволяют реализовать ряд важнейших её качеств [57, 89]: обеспечение однородности данных, с точки зрения информационных протоколов; общедоступности данных для всех потребителей, своевременного уведомления о появлении интересующих потребителей данных; постоянного контроля качества информации. Для этого необходимо провести анализ структуры прохождения информации, реализовать функции конвертации протоколов, контроля качества информации, поиска информации и уведомления потребителей о наличии требуемой по качеству информации. Ранее отмечалось, что с точки зрения обмена информацией распределённые системы представляют собой набор аппаратно-реализованных каналов типа «точка-точка», который не подходит для предоставления в общее пользование всем потребителям интегрированного набора динамически изменяющихся данных [57]. Для объединения каналов подобного типа необходимо переместить в сеть из её узлов часть «интеллекта» (например, часть функций обработки информации) и данные. Отделение данных от конкретного источника позволяет сделать их общедоступными по сети. На этой основе можно создавать набор приложений (программного обеспечения) для анализа данных, принятия решений и их реализации. Подобный подход обеспечивает выход на более высокий уровень видения ситуации и принятия решений, то есть, в конечном счете – на сокращение цикла управления [28].

В существующих радиолокационных системах принято передавать данные в основном с привязкой к источнику. Это обусловлено иерархической организацией и исторически сложившимися способами информационного обмена, но требует пересчета координат в каждом узле сети, соответствующих вычислительных ресурсов и наличия протоколов обмена. Существующие протоколы обмена являются

двусторонними, так как ориентированы на каналы «точка-точка». Кроме того, в различных системах используются различные системы координат и способы пересчета.

Одним из первых этапов отделения данных от источников является формирование таких сообщений о воздушных объектах, которые содержат координатную информацию, не привязанную к источнику. В настоящее время имеется большое количество способов формирования координатных данных. Проблема состоит в выборе согласованной для всех источников и потребителей радиолокационной системы точки отсчета, относительно которой определяются координаты.

В техническом, организационном и логико-лингвистическом плане решение указанной проблемы известно. При обмене информацией инвариантность сети к принадлежности данных определенному источнику сетевой структуры имеет следующие неоспоримые преимущества:

1. Сокращение количества пересчетов координат. Сравнение кинематических характеристик объектов может производиться непосредственно в «абсолютных» координатах. Упрощается выделение воздушных объектов в зонах ответственности и зонах отбора. В пунктах обработки РЛИ не требуется знание координат источников, реперных точек и т.п., что существенно снижает требования к производительности вычислительных средств и уменьшает ошибки пересчетов координат.

2. Сокращение объема вычислений при операциях объединения.

3. Однородность информационного протокола обмена и представления координатной информации в сети существенно сокращает количество конвертаций протоколов при передаче информации различным потребителям.

4. Вследствие однородности РЛИ и малой задержки при распространении по сети становится возможным применение методов псевдокогерентной обработки – обработки координатной информации о воздушных объектах от различных источников.

5. Информация о воздушных объектах становится доступной на основе уве-

домления о ее наличии в сети. Потребителю не обязательно знать источник их поступления, если ему не требуется управлять источником или что-либо знать о состоянии источника. Потребителю нужно знать, что эти данные достоверны и их можно использовать.

Особо отметим, что отсутствие привязки координат к конкретным источникам не означает «обезличивания» РЛИ. В протоколах формирования сообщений имеется возможность хранить информацию как об источнике каждого сообщения, так и о времени локации объекта. Наличие подобной информации позволяет однозначно определять ответственность за своевременность и качество поставляемой РЛИ, а также в случае необходимости предоставлять потребителю (органу управления) возможность управления источником информации.

Пересчет в систему координат без относительных точек отсчета позволяет отойти от общепринятого принципа формирования сообщений о воздушных объектах относительно определенных точек (точек стояния РЛС, КСА, реперных точек, и т.п.). Информация о точках стояния при этом может не передаваться по сети в общедоступном формате. Обработка и объединение РЛИ как непосредственно от источников, так и при обновлении РЛИ в сети приобретает автономность и независимость.

5.2 Применение метода агрегирования радиолокационной информации в сетевой структуре

5.2.1 Краткие сведения о методе агрегирования. Области применения метода агрегирования в сетевой структуре

Сетевая обработка РЛИ как новая категория может включать самые разнообразные методы обработки, подходящие для снижения информационных потерь, то есть для улучшения интегрального показателя информационных потерь [46]. Применение новых методов обусловлено, во-первых, особенностями построения сетевой структуры, и, во-вторых, особенностями обработки РЛИ. С этой точки зрения

интерес вызывает новый метод обработки РЛИ – метод агрегирования. Применение метода и алгоритмов агрегирования информации в сетевой структуре позволяет наиболее полно раскрыть её возможности и достигнуть существенного снижения информационных потерь.

В первоначальном смысле термин агрегирование означает «объединение составных частей системы в рамках общей функциональной задачи» [46, с. 18]. Этим термином, применительно к рассматриваемой проблеме, обозначается объединение ряда состояний группы объектов, которые обладают определенными общими свойствами. «Совокупность общих признаков, характеризующих некоторое множество реальных состояний группы объектов, называется ее агрегированным состоянием» [46]. Агрегированное состояние получается разбиением по заданным правилам множества состояний объекта (группы, фрагмента или всего массивированного удара) на ряд подмножеств. После проведения анализа подмножества состояний, может быть сформировано агрегированное состояние в целом. Это состояние в той или иной форме отражает наиболее общие свойства всех состояний конкретного подмножества. Совокупность агрегированных состояний, определенных заданными способами, может быть применена для распознавания реальных состояний группы объектов в качестве своеобразного эталона (или совокупности эталонов).

Необходимо подчеркнуть, что метод агрегирования, основанный на теории нечетких множеств, не использует такие общепринятые в третичной обработке способы при отождествлении информации, например, как стробирование для выделения объектов сравнения. В [46] отмечается, что при логико-лингвистическом характере процесса отображения и соответствующей интерпретации неопределенности его формализация, опирающаяся только на аппарат математической статистики и теории вероятности, является несколько односторонней, особенно в условиях высокой плотности ВО при учете свойственных радиолокационной системе ограничений.

В соответствии с [46] применение агрегирования можно начинать с уровня первичной обработки. На рисунке 5.1 показана структура системы агрегирования и

обработки агрегированной информации о воздушной обстановке в АСУ иерархической структуры.

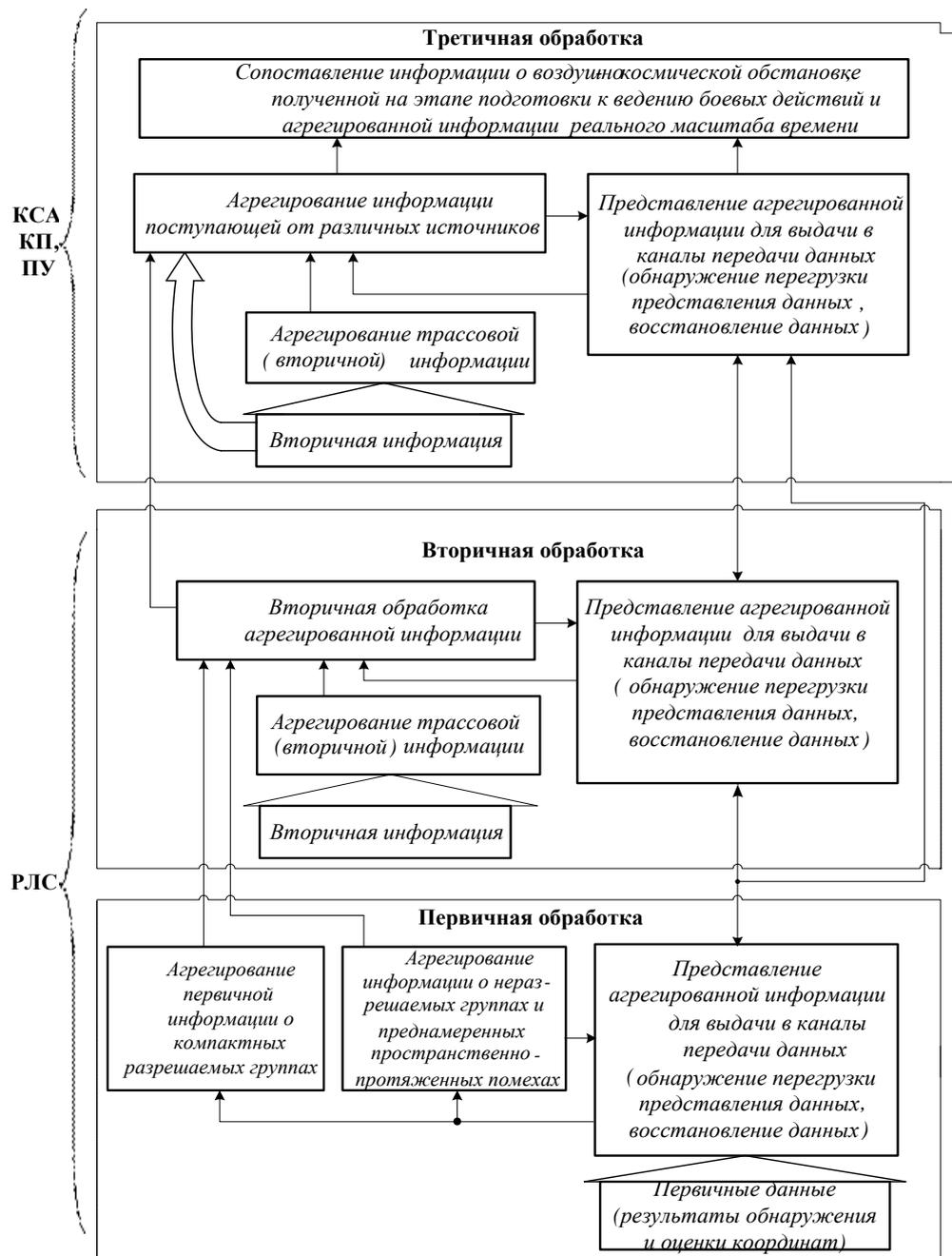


Рисунок 5.1 – Структура системы агрегирования и обработки агрегированной информации о воздушной обстановке в иерархической структуре

Если учесть, что перспективная АСУ сетевой структуры должна функционировать одновременно с существующей (рис. 5.2), то агрегирование информации целесообразно осуществлять, начиная с уровня обработки вторичной РЛИ в точках её получения от источников, то есть в узлах сетевой структуры.

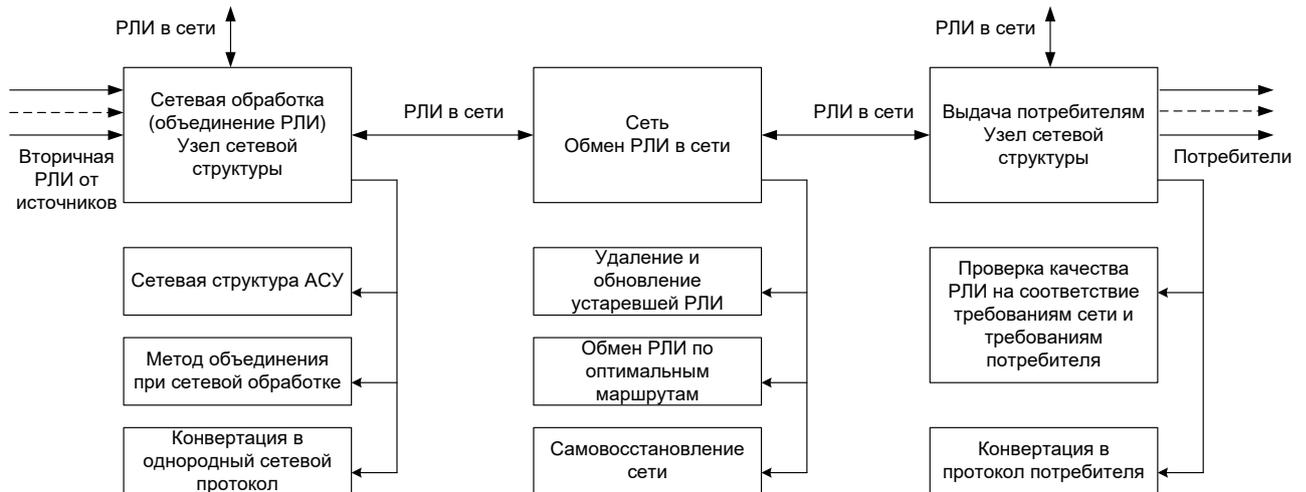


Рисунок 5.2 – Структура системы сетевой обработки информации о воздушной обстановке

Агрегирование обеспечивает снижение информационных потерь, в том числе и в условиях информационной перегрузки. Для сетевой структуры, как и иерархической, также имеется вероятность возникновения информационной перегрузки. Поэтому в узлах сети целесообразно применить методы агрегирования. Области, в которых может происходить взаимодействие сетевой обработки и агрегирования РЛИ, на рисунке 5.3 показаны пунктиром. Это области ввода РЛИ в сеть, ее обновления в процессе обмена по сети, и выдачи потребителю. В узлах сетевой структуры может осуществляться обработка РЛИ с использованием метода агрегирования (рис. 5.3).

Агрегирование информации, поступающей от различных источников, должно представлять собой двухэтапную процедуру, состоящую из этапа подготовки к агрегированию (агрегирования результатов первичной и вторичной обработки) и этапа агрегирования данных, поступающих от различных источников. В силу того, что каждое агрегированное сообщение носит уникальный (неповторяющийся во времени) характер по отношению к конкретным источникам РЛИ, уровню обмена РЛИ, доступному в конкретный момент времени типу агрегируемой РЛИ, и в результате для обновления агрегированной РЛИ необходимо всякий раз организовывать этап подготовки к агрегированию.

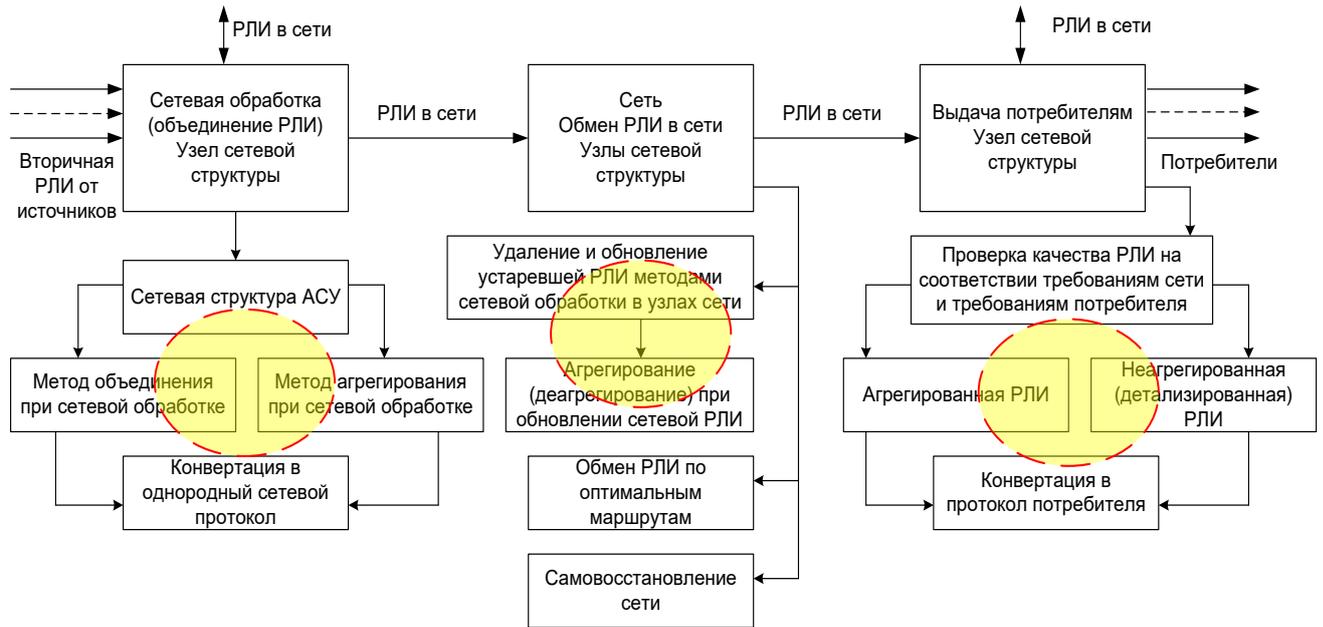


Рисунок 5.3 – Структура системы сетевой обработки информации с интеграцией метода агрегирования

Наличие агрегированных сообщений в сети означает, что, по мнению [46], у потребителя должна быть возможность применения источника вторичной информации для детализации агрегированной РЛИ. Можно полагать, что эту информацию потребитель может получать непосредственно из сети.

Для случая ввода РЛИ в сеть и обновления РЛИ в сети в процессе обмена, подготовка РЛИ к агрегированию с опорой на источник данных и само агрегирование (деагрегирование) представляется затратной по вычислительным ресурсам и времени процедурой, требует наличия источника РЛИ у потребителя или аналогичной информации из сети. В этом случае в сети одновременно с агрегированной должна находиться и неагрегированная информация. Для принятия решения по обновлению агрегированной информации при прохождении её по сети одновременно должна передаваться матрица значений зоны отбора, в которой происходило агрегирование. Если у сервера сети имеется дополнительная информация, входящая в зону отбора, то может быть принято решение о процедуре деагрегирования с последующим агрегированием, или решение о добавлении сообщения о воздушном объекте к эталону в агрегированную ранее группу. Указанные решения принимаются в соответствии с требованиями надсистемы или её подсистем.

В случае выдачи РЛИ потребителям, подключенным к терминалам (узлам сети), ситуация кардинально меняется. Подготовленная к агрегированию информация уже имеется на сервере, поэтому в целях экономии вычислительного ресурса агрегирование, в первую очередь, целесообразно осуществлять при выдаче РЛИ из сети потребителям. Применение агрегирования обуславливается критерием информационной перегрузки каналов передачи данных на участках сеть – потребитель.

В соответствии с сетевой структурой построения АСООИ, узлами сети являются терминалы, в состав которых входят серверы и шлюзы. Терминалы могут одновременно выполнять функции ввода в сеть и вывода РЛИ из сети. Возможность реализации этих функций определяется только пространственным расположением источников, потребителей и терминалов сети. На сервере каждого терминала имеется результирующая матрица сервера и выходные матрицы потребителей. Информация в матрицах обновляется по данным сети и данным источников, если они подключены к терминалам, по мере поступления и с малой задержкой. Результирующая матрица и выходные матрицы потребителей содержат только актуальную РЛИ, причем выходные матрицы потребителей формируются в соответствии с заявками потребителей, в которых определяется уровень доступа, зоны ответственности, зоны отбора, типы объектов, подлежащие отбору, и другая информация, сокращающая и ограничивающая поток данных, поступающих потребителям. Ограничения необходимы для организации доступа к РЛИ сети, регламентирования пропускной способности каналов связи от терминалов до источников, а также для уменьшения требуемого ресурса вычислительных средств. В сетевой структуре подобные ограничения направлены на улучшение интегрального показателя информационных потерь радиолокационной системы, одним из частных показателей которого является время прохождения РЛИ в сети.

Составной частью времени прохождения РЛИ в сети является время обработки при её вводе-выводе. Время при вводе информации в сеть существенно сокращается применением метода сетевой обработки. Для сокращения времени при выводе информации из сети и выдаче её потребителям на основе результирующей

матрицы сервера формируются выходные матрицы потребителей, сформированные по заявкам потребителей и в соответствии с требованиями надсистемы.

После объединения РЛИ по методу сетевой обработки информация, содержащаяся в матрицах сервера, является по своей сути третичной. В результате объединения на сервере сети осуществляется выбор наиболее подходящего по критериям источника вторичной информации. В этом случае вид представления РЛИ в матрицах сервера – это сообщение об объекте от конкретного источника.

Обновление РЛИ в матрицах сервера происходит аperiodически, появление очередного сообщения от любого источника информации является сигналом к началу работы алгоритма сетевой обработки. Информация на каждом сервере сети находится в режиме постоянного обновления и проверки правильности объединения. Отдельных циклов обработки, накопления и отображения не предусмотрено. Для последующей обработки, отображения и использования РЛИ, содержащейся на сервере, каждый подключенный к сети потребитель выбирает необходимую для него периодичность поступления информации, сообразуясь с возможностями каналов связи, типом протоколов обмена, зонами отбора и другими специфическими требованиями.

Вид представления РЛИ в шлюзах соответствует протоколам обмена с конкретными потребителями, подключенными к ним, т.е., по сути, это информация, объединенная по результатам сравнения от нескольких источников (находится в результирующей матрице сервера) и подготовленная для выдачи потребителям (выходные матрицы потребителей).

В [47, с. 183-184] отмечается, что при третичной обработке – объединении (агрегировании) данных, поступающих от различных источников, должна быть обеспечена подготовка к агрегированию данных, сгруппированных известными методами, и объединение их с остальными поступающими данными (агрегированными и неагрегированными).

В соответствии с этим алгоритм третичной обработки (агрегирования) состоит из двух этапов:

- этапа подготовки к агрегированию данных, сгруппированных известными методами;
- этапа объединения агрегированных данных.

Этап подготовки сгруппированных данных к агрегированию должен реализовываться на источнике выявления данных, так как для его функционирования необходима полная информация о составляющих группы воздушных объектах. В связи с тем, что группирование данных известными методами в контексте агрегирования можно представить как предварительное разбиение на образы, в качестве основы алгоритма подготовки целесообразно использовать алгоритм агрегирования вторичной информации о воздушной обстановке [47, с. 183].

Основным преимуществом метода сетевой обработки является именно малое время, затрачиваемое на объединение РЛИ и обмен по сети. Следовательно, сетевая информация о воздушной обстановке, используемая в качестве исходной для агрегирования, имеет более лучшие параметры, чем поступающая от источников иерархической структуры. Сервер, как узел сетевой структуры, может выступать в качестве источника данных сетевой обработки для последующего агрегирования.

Представление третичной сетевой РЛИ в матрицах сервера (и соответствующие действия с ними) заменяется на агрегированное представление. Отсутствуют стробы, привязка сообщений к источникам по координатам (признак принадлежности к источникам сохраняется), повышаются информационные возможности, в том числе по обобщенной обработке РЛИ. Это утверждение необходимо пояснить подробнее. В [47] отмечается важная особенность: потребителем в алгоритме сопоставления информации, полученной на этапе подготовки к ведению боевых действий, и агрегированной информации о воздушно-космической обстановке реального масштаба времени, этап подготовки может использоваться для агрегирования результатов оценки воздушно-космического противника в ходе подготовки к ведению боевых действий. При этом в обобщенном виде формируются данные о возможных направлениях ударов, группах, их характеристиках, то есть осуществляется предварительное разбиение прогнозируемых объектов удара на образы.

Иными словами, совместная сетевая обработки и агрегирование последовательно приводят к возможностям применения элементов искусственного интеллекта.

Агрегирование (деагрегирование) осуществляется по критериям и по ситуации (предварительному сценарию), в зависимости от состояния сети, от требований потребителей и от требований надсистемы.

Преимущество метода, показанное в [46] – повышение эффективности функционирования радиолокационной системы в условиях информационной перегрузки, дополняется новым качеством – передача всем элементам сети, входящим в систему, значительно большего количества агрегированной РЛИ, чем это допускается расчетной пропускной способностью каналов передачи данных при обмене неагрегированной (сообщениями традиционного вида) информацией.

Принимая во внимание структуру перспективной информационной системы, в которой узлы этой структуры – терминалы – содержат серверы сетевой обработки РЛИ и шлюзы конвертации протоколов, применение агрегирования естественным образом подходит именно к терминалам, обеспечивающим выдачу РЛИ потребителям. Кроме того, пространственное размещение терминалов относительно потребителей РЛИ будет характеризоваться некоторой (до десятков км) удаленностью друг от друга, а, следовательно, наличием менее скоростных каналов обмена данными. Эти каналы будут в первую очередь подвергаться информационным перегрузкам. Поэтому агрегирование РЛИ на участках «последней мили» представляется востребованным. Кроме того, имеется возможность не только полноценной конвертации протоколов (логического и физического уровня), но и предварительной подготовки информации в соответствии с заявкой потребителя по выдаче РЛИ по зонам отбора, классам воздушно-космических объектов, темпу выдачи в различных зонах и т.п.

Таким образом, в соответствии с [47] для предварительного этапа агрегирования необходимо иметь детальную вторичную или третичную РЛИ в традиционном представлении. Информация содержится в матрицах сервера, и по своему представлению (состав, качество, возможность выбора ограничений) может быть использована для агрегирования и последующей выдачи потребителю.

5.2.2 Агрегирование и сетевая обработка при выдаче потребителю

В соответствии с [46], на этапе агрегирования данных, поступающих от различных источников, используется метод, аналогичный методу агрегирования вторичной информации о воздушной обстановке. Отличие состоит в процедуре расчета функции принадлежности множеству нечетко определенной цели и нечеткого ограничения по скорости. При этом в качестве расстояния между объектами одного и того же образа используются расстояния (по координатам и скорости, соответственно) между объектами, данные о которых поступают от различных источников, а в качестве расстояний до объектов другого ближайшего образа используются расстояния до ближайшего объекта (эталона) на одном из источников.

В соответствии с результатами агрегирования в канал передачи данных может выдаваться [46]:

- полная информация об агрегированных объектах, включающая данные об эталонах, данные о составляющих группы с признаками принадлежности каждой из составляющих конкретному эталону, обобщенные данные (обобщенные кинематические параметры и обобщенные признаки групп) с матрицей нечеткого отношения принадлежности, характеризующей боевой порядок;

- частично обобщенная информация об агрегированных объектах, включающая данные об эталонах, данные о составляющих группы с признаками принадлежности каждой из составляющих конкретному эталону и обобщенные данные по группе отметок. В случае необходимости, данные о составляющих группы представляются в сжатом в несколько раз масштабе в относительной эталона системе координат. В качестве обобщенных данных о группах могут использоваться данные об эталонах групп;

- обобщенная информация об агрегированных объектах, включающая данные об эталонах, представляющих группы отметок, (кинематические параметры, обобщенная признаковая информация и количественный состав группы).

В условиях информационной перегрузки в зависимости от вида агрегированной информации – разрешаемая группа, неразрешаемая группа объектов или область некомпенсированной помехи, и от критерия перегрузки может выбираться

второй или третий способ представления данных для выдачи в каналы передачи данных.

Если имеется агрегированная информация по разрешаемой группе объектов, то в зависимости от загрузки канала и требований потребителя к степени детализации данных по составляющим группы она может выдаваться в частично обобщенном или обобщенном виде. Информация по неразрешаемой группе выдается в обобщенном виде. Агрегированная информация по областям некомпенсированных помех выдается в частично обобщенном виде в относительной системе координат с центром координат, совпадающим с эталоном, со сжатием координатных данных в несколько раз.

При поступлении потребителю частично обобщенной агрегированной информации о ВКО с координатами отметок, образующих пространственно-протяженный объект в относительной системе координат эталона и в сжатом виде, необходимо обеспечить восстановление данных. В случае необходимости координаты составляющих переводятся из относительной системы координат эталона в систему координат пункта обработки.

В работе [46] эталон определяется как представитель компактного подмножества группы отметок, образующих пространственно-протяженный объект. Эталону присущ набор тех же самых кинематических и признаковых данных, что и отдельному объекту, но с существенным отличием – эталон характеризует группу объектов, связан с ними рядом параметров по результатам агрегирования, и поэтому к эталону привязаны данные о составляющих группу в обобщенном или детализированном виде, а также, в ряде случаев, матрица нечеткого отношения принадлежности, характеризующая боевой порядок.

Следовательно, РЛИ в матрицах сервера будет представлена, в первую очередь, кинематическими характеристиками эталона. С эталоном в результате агрегирования будут связаны сообщения о воздушных объектах, входящие в агрегированную группу. При этом каждому сообщению агрегированному, неагрегированному или входящему в состав агрегированной группы, может быть присвоена связка номеров по соответствию указанных сообщений сообщениям о воздушных

объектах в матрицах сервера, поскольку в сетевой структуре сервер является источником данных.

По сути в высокоскоростной сети обмена данными АСООИ возможна передача сообщений с признаком «эталон» и связка номеров сообщений, входящих в агрегированную группу. При отсутствии информационной перегрузки указанные дополнительные признаки повышают общий трафик сети незначительно. В случае наступления ситуации информационной перегрузки по сети передается только агрегированная информация, без детализации. Для детализации агрегированной информации необходим источник (источники) РЛИ, подключенный к серверу потребителя или автономные источники РЛИ потребителя. Информационная система сетевой структуры при информационной перегрузке может переключаться в режим иерархической структуры с адресной доставкой агрегированных сообщений.

Рассмотрим наиболее общий случай поступления РЛИ на сервер, когда от m источников поступает РЛИ о p воздушных объектах, находящихся в зонах их обнаружения. Сформируем исходную матрицу сервера \mathbf{A} , состоящую из матриц (\mathbf{A}^m) . Исходная матрица сервера \mathbf{A} содержит вторичную РЛИ от m источников.

Матрица \mathbf{A} имеет размер $l_{\text{пр}} \times M$, где $M = \sum_{i=1}^m N_i$ является суммарным числом сообщений N_i , поступивших в матрицу \mathbf{A} от m -источников; $l_{\text{пр}}$ – число признаков, имеющих в каждом сообщении и внесенных в матрицу \mathbf{A} , в него также входят координаты и составляющие скоростей по их соответствующему количеству; n_1^i , $n_{N_i}^i$ – номера первой и последней трасс, присвоенные i -м источником ($i = \overline{1, m}$) в системе собственной нумерации.

$$\mathbf{A} = \left\| \begin{array}{cccccc} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & \dots & x_1^{(m)} & \dots & x_{N_m}^{(m)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & \dots & y_1^{(m)} & \dots & y_{N_m}^{(m)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & \dots & z_1^{(m)} & \dots & z_{N_m}^{(m)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(m)} & \dots & V_{x_{N_m}}^{(m)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(m)} & \dots & V_{y_{N_m}}^{(m)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(m)} & \dots & V_{z_{N_m}}^{(m)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & \dots & n_1^{(m)} & \dots & n_{N_m}^{(m)} \\ f_1^{(1)} & \dots & f_{N_1}^{(1)} & \dots & f_1^{(m)} & \dots & f_{N_m}^{(m)} \\ g_1^{(1)} & \dots & g_{N_1}^{(1)} & \dots & g_1^{(m)} & \dots & g_{N_m}^{(m)} \end{array} \right\|. \quad (5.1)$$

Элементы $f_1^{(1)}, \dots, f_{N_m}^{(m)}$ матрицы \mathbf{A} определяют значения индивидуального номера объекта по результатам работы запросчика соответствующей РЛС, а элементы матрицы $g_1^{(1)}, \dots, g_{N_m}^{(m)}$ – значения класса объекта, поступающие в кодграмме.

Результирующая матрица \mathbf{B} сервера после объединения РЛИ имеет вид:

$$\mathbf{B} = \left\| \begin{array}{cccccc} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & \dots & x_1^{(q)} & \dots & x_{N_q}^{(q)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & \dots & y_1^{(q)} & \dots & y_{N_q}^{(q)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & \dots & z_1^{(q)} & \dots & z_{N_q}^{(q)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(q)} & \dots & V_{x_{N_q}}^{(q)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(q)} & \dots & V_{y_{N_q}}^{(q)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(q)} & \dots & V_{z_{N_q}}^{(q)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & \dots & n_1^{(q)} & \dots & n_{N_q}^{(q)} \\ f_1^{(1)} & \dots & f_{N_1}^{(1)} & \dots & f_1^{(q)} & \dots & f_{N_q}^{(q)} \\ g_1^{(1)} & \dots & g_{N_1}^{(1)} & \dots & g_1^{(q)} & \dots & g_{N_q}^{(q)} \end{array} \right\|. \quad (5.2)$$

Здесь $n_B^{(i)} \in \{n_1^{(i)} \dots n_{N_q}^{(i)}\}$ – номера трасс, присваиваемые i -й РЛС (для $i = \overline{1, q}$).

В общем случае в результирующей матрице **B** по сравнению с исходной матрицей **A** после объединения данных о воздушных объектах число источников q и число сообщений M_B меньше или равно соответствующему числу источников t и сообщений M_A , содержащихся в матрице **A**:

$$q \leq t ; M_B \leq M_A. \quad (5.3)$$

Число сообщений об объектах (столбцов матрицы **B**) равно:

$$M_B = M_A - k, \quad (5.4)$$

где k – число объектов (столбцов матрицы **A**), не вошедших в матрицу **B** по результатам объединения.

Предположим, что данные, содержащиеся в матрице **B**, подверглись агрегированию. Из [46] известно, что агрегирована может быть некоторая часть объектов, удовлетворяющих условиям агрегирования. При этом общее число столбцов матрицы **B**, соответствующее числу сообщений M_B , уменьшится на коэффициент сжатия информации при агрегировании K_{agr}

$$M_{agr} = K_{agr} M_B. \quad (5.5)$$

Часть данных будет агрегирована и войдет в сообщения об агрегированных объектах. Остальные останутся в матрице **B**_{agr} в виде неагрегированных. В общем случае количество источников $q_{agr} \leq q$, а количество сообщений в матрице **B**_{agr} будет $M_{agr} \leq M_B$.

Для связки номеров агрегированных и неагрегированных сообщений о воздушных объектах, а также для обозначения признака эталона вводятся или дополнительная матрица состояния, подобно матрице состояния **D** (гл. 2), содержащая только информацию о номерах связанных строк и столбцов, или, что представляется более предпочтительным, – дополнительная матрица **B**_{agr} с дополнительными строками S_s с указанием номеров сообщений о воздушных объектах, входящих в агрегированную группу. Агрегированная группа представляется эталоном-столбцом (уберем строки признаковой информации f и g для упрощения вида матрицы **B**_{agr}):

$$\mathbf{B}_{\text{agr}} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & x_1^{(q)} & \dots & x_{M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & y_1^{(q)} & \dots & y_{M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & z_1^{(q)} & \dots & z_{M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{M_{\text{agr}1}}}^{(1)} & \dots & V_{x_1}^{(q)} & \dots & V_{x_{M_{\text{agr}q}}}^{(q)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{M_{\text{agr}1}}}^{(1)} & \dots & V_{y_1}^{(q)} & \dots & V_{y_{M_{\text{agr}q}}}^{(q)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{M_{\text{agr}1}}}^{(1)} & \dots & V_{z_1}^{(q)} & \dots & V_{z_{M_{\text{agr}q}}}^{(q)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & n_1^{(q)} & \dots & n_{M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ A_{\text{эм}1}^{(1)} & \dots & A_{\text{эм}M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & A_{\text{эм}1}^{(q)} & \dots & A_{\text{эм}M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ S_1^{(1)} & \dots & S_{M_{\text{agr}1}}^{(1)} & \dots & S_1^{(q)} & \dots & S_{M_{\text{agr}q}}^{(q)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_s^{(1)} & \dots & S_{M_{\text{agr}s}}^{(1)} & \dots & S_s^{(q)} & \dots & S_{M_{\text{agr}s}}^{(q)} \end{pmatrix}. \quad (5.6)$$

Здесь $A_{\text{эм}M_{\text{agr}q}}^{(q)} \in \{0, 1\}$ – признак принадлежности сообщения о воздушном объекте к эталону, одновременно является индикатором наличия агрегированного сообщения, $S_{sM_{\text{agr}q}}^{(q)}$ – сообщение о воздушных объектах, связанных в агрегированную группу эталона, и соответствующего номеру эталона-столбца. Содержит порядковый номер источника q и порядковый номер сообщения от этого источника $n_{N_q}^{(q)}$, даже если источник не вошел в матрицу \mathbf{B}_{agr} , при этом $S_{sM_{\text{agr}q}}^{(q)} = 0$, если столбец матрицы \mathbf{B}_{agr} не является эталоном-столбцом агрегированной группы. Число дополнительных строк $S_{sM_{Bq}}^{(q)}$ в матрице \mathbf{B}_{agr} определяется числом сообщений s о воздушных объектах, входящих в агрегированную группу. В этом случае передачи потребителям матрицы нечеткого отношения принадлежности не требуется, так как кинематические характеристики связанных сообщений о воздушных объектах имеются в сети. В отсутствие информационной перегрузки по сети передаются матрицы \mathbf{B} и \mathbf{B}_{agr} . Время доставки данных по сети составляет достаточно малую величину, поэтому информация о воздушных объектах достоверна и пригодна для агрегирования (детализации) и, при необходимости, последующего агрегирования

на сервере. В случае наличия информационной перегрузки передается только матрица \mathbf{V}_{agr} , которая в силу своей меньшей размерности создает меньшую нагрузку на каналы передачи данных. Деагрегирование (детализация) информации на сервере-потребителе производится с привлечением дополнительных источников РЛИ [46, 47]. Для обеспечения деагрегирования РЛИ при передаче по сети к каждому эталону также может быть привязана матрица, характеризующую зону отбора, в которой осуществлялось агрегирование конкретного эталона. Матрица зоны отбора может быть общей для нескольких эталонов.

Отметим, что предлагаемый способ организации представления и обработки данных является вариантным. Например, можно не разделять агрегированную и неагрегированную информацию в разных матрицах, а передавать все данные в одной матрице \mathbf{V} , увеличив её размер на S строк.

Увеличение дополнительной информации и применение алгоритма агрегирования влечет за собой увеличение вычислительного ресурса, а значит, и увеличение времени обработки РЛИ при прохождении её по сети. Этот вопрос требует дополнительного исследования и оптимизации совместного использования алгоритмов агрегирования и объединения РЛИ при сетевой обработке.

В отношении выдачи информации из сети потребителю не возникает никаких проблем по согласованию и преобразованию агрегированной или неагрегированной информации. В точке вывода РЛИ (узле АСООИ) представление самой информации определяется возможностями вычислительного комплекса и требованиями конкретного потребителя. Преобразование РЛИ к требуемому виду, конвертация протоколов производятся в точке вывода РЛИ из сети – терминале обработки РЛИ. Существенного повышения требований к производительности на этом этапе не предвидится. Блок-схема алгоритма третичной обработки агрегированной информации представлена на рисунке 5.4 из работы [46] .

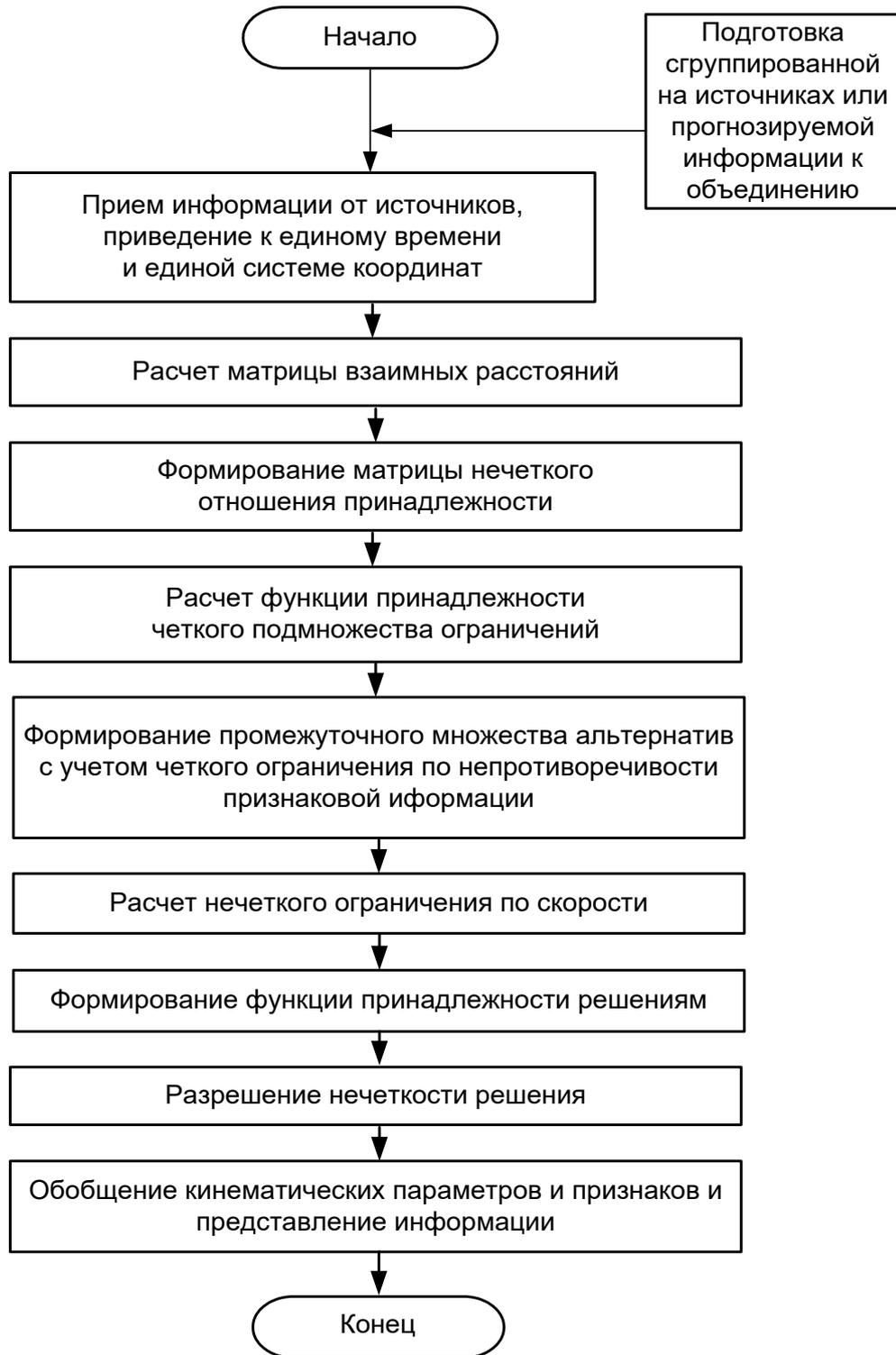


Рисунок 5.4 – Блок-схема алгоритма третичной обработки агрегированной информации

После выполнения алгоритма агрегирования его результаты переносятся в соответствующие матрицы сервера и передаются потребителю через шлюз конвертации протоколов.

Схема обработки РЛИ в узле (терминале) сетевой структуры с применением

метода агрегирования в случае выдачи потребителю представлена на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 – Схема взаимодействия алгоритмов сетевой обработки и агрегирования РЛИ в сетевой структуре

Отметим, что функционирование алгоритмов сетевой обработки и агрегирования может происходить одновременно, агрегированная РЛИ выдается в сеть в таком же порядке, как и неагрегированная. Методики преобразования матриц, содержащих характеристики эталонов, приведены ранее в гл. 4.

Переход в режим агрегирования РЛИ и обратно (принятие решения) осуществляется в соответствии с требованиями надсистемы, как и преобразование логической структуры от сетевой к иерархической (или комбинированной).

5.3 Алгоритмы системного уровня [96, 78]

Автоматизированная система обмена и обработки информации сетевой

структуры состоит из серверов, которые могут быть соединены по полносвязной схеме, и обеспечивает прохождение однородной РЛИ с обновлением её на тех серверах, которым доступны источники. Обмен информацией в сетевой структуре подвержен типовым недостаткам: чрезмерное накопление неконтролируемой информации, образование «петлей» информации, широковещательный «шторм», трудность организации восстановления сети и др. Для обеспечения функционирования сетевой структуры и решения проблем указанного типа предназначены алгоритмы системного (сетевого), более высокого, чем обработка РЛИ в узлах сети, уровня. Как правило, они представляют собой определенную совокупность известных стандартных алгоритмов и алгоритмов, разработанных специально для обеспечения каких-либо особых условий функционирования сети.

Рассмотрим один из вариантов [96], который может быть использован в сетевой структуре, в части, касающейся передачи и обмена радиолокационной информацией.

Целью разработки и применения алгоритмов системного сетевого уровня является сокращение времени прохождения РЛИ в сети за счет снижения загрузки путем удаления неактуальной, поврежденной, нежелательной информации, и исключения передачи повторной информации. Вследствие этого происходит улучшение показателей качества информации и интегрального показателя информационных потерь в целом, вследствие уменьшения времени обработки РЛИ в узлах сетевой структуры. В целом снижается порог информационной перегрузки сети и требования к пропускной способности каналов передачи данных.

В целях обеспечения функционирования алгоритмов сетевого уровня узлы сети объединяются виртуальной одноранговой сетью. В основе работы указанных алгоритмов находится первичная маршрутизация данных, их последующая фильтрация по критерию заданного времени существования РЛИ и по адресу источника. После маршрутизации и фильтрации применяются дополнительные алгоритмы, которые также используют фильтрацию и маршрутизацию РЛИ, но уже по критерию содержания сообщений.

В случае, когда система содержит несколько источников РЛИ, имеющих разные зоны ответственности, возникает необходимость в ситуационной осведомленности потребителей РЛИ, не имеющих прямых (некоммутируемых) каналов связи с узлами сетевой информационной структуры. Система может содержать несколько узлов, объединенных в сеть. Узел представляет собой сервер обработки РЛИ с подключенным к нему шлюзом телекодовой информации. В таком случае новая РЛИ, вводимая одним узлом, распространяется всем остальным, так как в общем случае узлы соединены между собой по полносвязной топологии. Все вышесказанное приводит к одновременному существованию в сети множества копий одной и той же информации, вследствие чего увеличивается время ее прохождения по сети. Обработка повторно полученной информации снижает производительность узлов АСООИ и пропускную способность системы в целом. Также вероятен случай, когда отправленная информация через некоторое количество промежуточных узлов возвращается на источник. При ограниченной пропускной способности линий связи данная излишняя информация приводит к снижению пропускной способности сети.

Вместе с тем, функционирование сервера сетевой информационной структуры [93], использующего новый способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления [90], подразумевает выдачу обработанной информации в сеть в том же виде, в каком она была получена, что влечет за собой дублирование информации. Недостаток этого способа заключается в том, что такая повторная информация не подвергается фильтрации.

Примеры организации сетей с ячеистой (mesh) топологией на основе Adhoc [104] показывают, что такие решения являются проприетарными (коммерческими, разработанными по закрытым стандартам), что не позволяет применять их в изделиях, предназначенных для систем управления и контроля за воздушным движением в Российской Федерации.

Поскольку основной объем информации, передаваемой в сети АСООИ, со-

ставляют данные о трассах объектов, применение известных алгоритмов динамической маршрутизации и фильтрации данных не способно в полной мере решить проблему фильтрации повторных данных, так как они не специализированы на передаче РЛИ и не позволяют ввести критерии фильтрации информации по признакам, характерным для траекторной информации. Так, например, «сетевая автоматизированная система передачи радиолокационной информации» [94] предназначена для передачи и обмена РЛИ источниками и потребителями. Её особенностью является минимизация временных задержек путем применения современных цифровых каналов связи, а также способа [90] и реализованного на его основе алгоритма сетевой обработки. Недостатком [94] является увеличенное время прохождения информации в сети ввиду отсутствия фильтрации данных (удаление нежелательной информации, защита от передачи одних и тех же данных).

Объединение узлов сети в виртуальную одноранговую локальную сеть позволяет организовать между узлами сеть с виртуальной полносвязной топологией, не зависящей от физической топологии сети, которая может быть произвольной. Это может быть реализовано посредством протокола VLAN [136]. В результате узлы получают возможность адресно обмениваться друг с другом информацией, избегая при этом широковещательной рассылки, а это соответственно, позволяет снизить информационную нагрузку на сеть в целом.

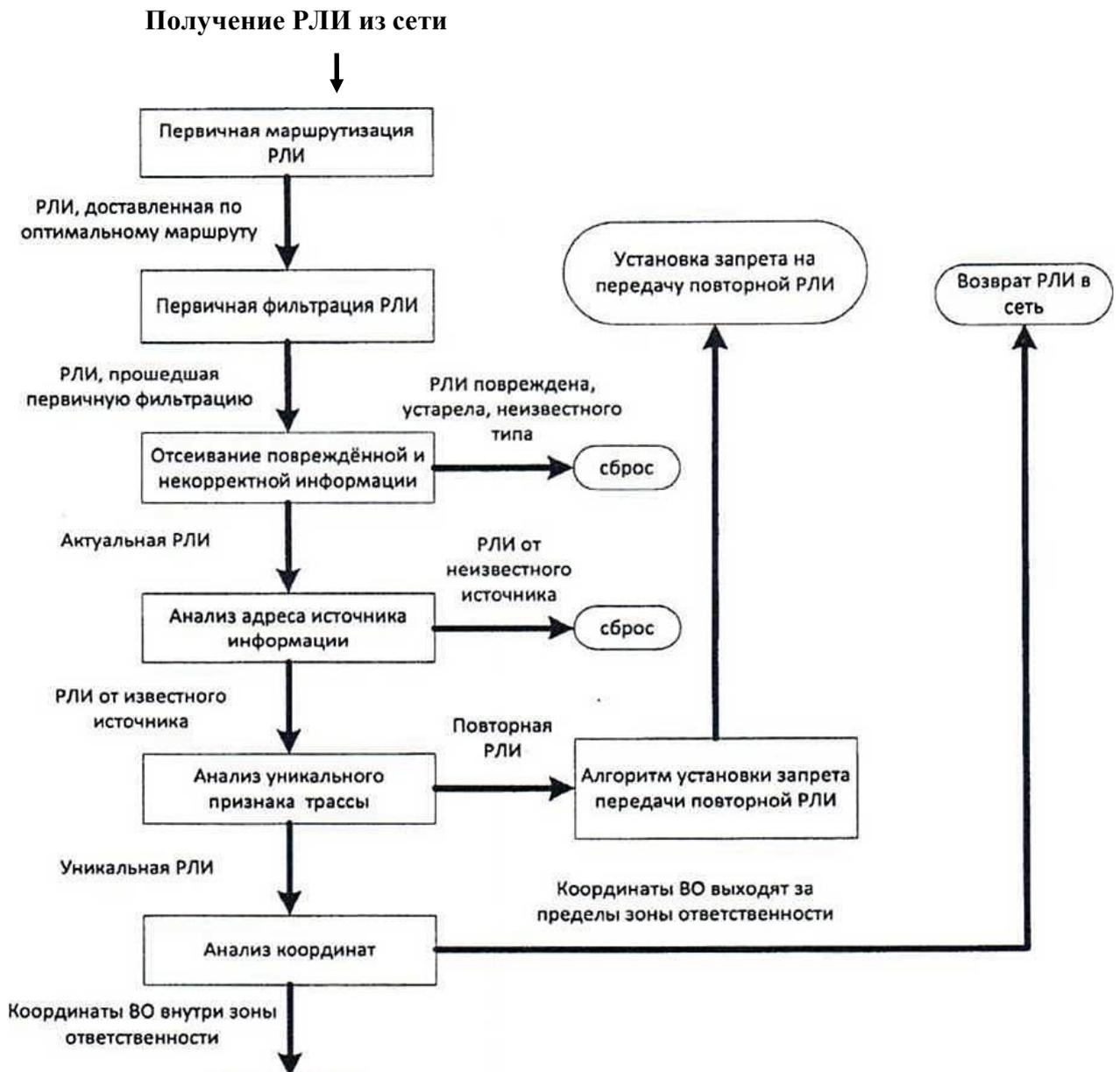
Применение первичной маршрутизации данных позволяет доставлять РЛИ от одного узла сети к другому по кратчайшему пути. Это обеспечивает оптимальное использование пропускной способности сети при обмене информацией, а также быструю реакцию на изменение топологии сети. Первичная маршрутизация данных может быть выполнена на основе протокола OSPF [135].

Актуальность получаемой РЛИ зависит от времени регистрации данных в сети и от времени локации воздушного объекта.

Первичная фильтрация направлена на отсеивание неактуальной информации, определяемой по времени регистрации данных в сети, а также петлевых данных по признакам источника. Отсеивание производится по результатам анализа соответ-

ствующих полей полученного IP-пакета. Первичная фильтрация может быть реализована сетевым фильтром netfilter [129].

Дополнительные алгоритмы фильтрации и маршрутизации данных реализуются посредством специального разрабатываемого программного обеспечения. На рисунке 5.6 представлена структурная схема, поясняющая предлагаемый способ обработки РЛИ в сети.



Объединение с РЛИ, имеющейся на сервере, и передача её в сеть (потребителю)

Рисунок 5.6 – Структурная схема алгоритма сетевого уровня обмена РЛИ

Дополнительный алгоритм фильтрации позволяет выявить и удалить некорректную и нежелательную для данного узла информацию по результатам анализа содержимого кодограммы РЛИ на основе характерных признаков (сетевые адреса источников, узлов сети и номера источников трасс). Актуальность РЛИ в данном алгоритме определяется на основе времени локации.

Дополнительный алгоритм фильтрации состоит из следующих этапов:

1 Извлечение из полученной кодограммы РЛИ маркировки в виде совокупности номера трассы в нумерации источника, единого номера источника, единого номера узла, который первым выдал данную информацию в сеть.

2 Анализ единых номеров источника и узла. Если номера неизвестны, то кодограмма РЛИ возвращается в сеть.

3 Извлечение из кодограммы декартовых координат объекта в системе координат источника, если номера источника и узла известны.

4 Пересчет координат из системы координат источника в систему координат центра зоны ответственности.

5 Анализ полученных координат. Если объект располагается внутри области, ограниченной зоной ответственности, кодограмма передается для дальнейшей обработки на сервер.

При первичной маршрутизации информация между двумя любыми узлами в сети доставляется по кратчайшему пути, соответствующему хорде виртуальной полносвязной топологии. В результате каждая уникальная информация, передаваемая любому узлу от узла источника, будет доставлена первый раз по кратчайшему пути. Информация, доставленная другими путями, будет повторной. Поэтому должна быть реализована защита от передачи такой дублированной информации. Эта задача решается путем применения дополнительного алгоритма маршрутизации. Он основан на механизме установки и снятия запрета передачи информации с определенным признаком между двумя узлами системы.

Принцип работы дополнительного алгоритма маршрутизации РЛИ заключается в следующем:

1 Уникальные признаки каждой трассы (номер источника, номер трассы, номер узла) и адрес отправителя, с которого данная трассовая информация была получена первый раз, сохраняются в специальном реестре.

2 Для каждой новой трассовой информации производится анализ уникального признака и адреса отправителя на соответствие тем, что уже есть в реестре.

3 При обнаружении дублированной информации (уникальный признак трассы совпал, а адрес отправителя не совпал с тем, что хранится в реестре) узлу, приславшему повторную информацию, отправляется запрос на установление запрета передачи. Запрос содержит уникальный признак трассы, на передачу информации, о которой необходимо установить запрет.

4 Узел, получивший запрос на запрет передачи повторной информации, запоминает уникальный признак трассы, переданный в запросе, и отправляет обратно отзыв об успешном установлении запрета. В дальнейшем данный узел не будет отправлять РЛИ с данным признаком узлу, приславшему запрос на запрет.

Таким образом, за счет объединения узлов в виртуальную одноранговую локальную сеть, связки двух алгоритмов фильтрации и двух алгоритмов маршрутизации сокращается время прохождения РЛИ в сети системы, исключается передача повторной информации, а также снижаются требования к пропускной способности линий связи и улучшаются показатели качества информации. Применение подобных комплексных алгоритмов [96] позволяет использовать свойства сетевой структуры для создания самовосстанавливающейся сети, а также подключения потребителей и источников по принципу «plug-and-play».

5.4 Оценка времени задержки информации при передаче РЛИ по каналам связи с использованием алгоритма АПД «Аккорд-СС-ПД» [82]

В данном подразделе анализируются результаты экспериментальных данных по определению зависимости времени задержки кодограмм от расположения ВО в зоне обнаружения РЛС при передаче РЛИ от ЭВМ через АПД по низкоскоростному каналу связи, при нахождении определенного количества ВО в ограниченном секторе зоны обнаружения РЛС.

Экспериментальные исследования проводились для следующих исходных данных. Воздушные объекты находились в секторе 90° и в зоне обнаружения 360° по азимуту. Для каждого моделируемого пространственного расположения ВО было произведено от 600 до 700 измерений. Во всех случаях скорость передачи данных была равна 2400 бит/с. На этой скорости передачи данных производительность РЛС должна быть не менее 100 трасс ВО.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены результаты, которые отражены на рисунках 5.8 и 5.9. На рисунке 5.8 представлено семейство зависимостей – плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных, с учетом пространственного расположения ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС.

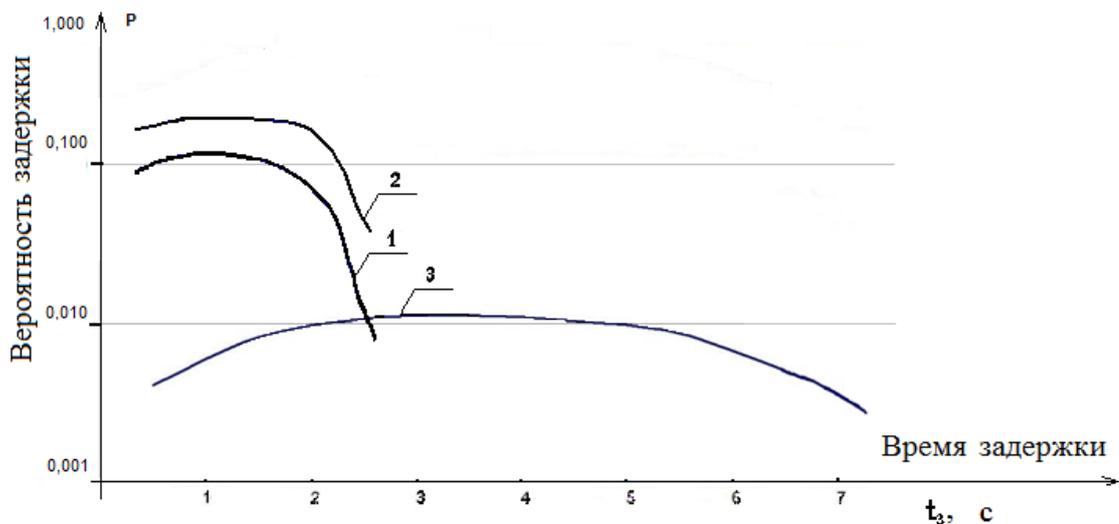


Рисунок 5.8 – Плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных

На этом рисунке кривая 1 соответствует наличию в секторе зоны обнаружения 60 трасс ВО, кривая 2 – 70 трасс ВО, а кривая 3 – 100 трасс ВО.

Из рисунка 5.8 следует, что с ростом числа трасс ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС время задержки выдачи кодограмм в канал связи увеличивается. Так, для 60 и 70 трасс ВО время задержки выдачи сообщений в канал связи составляет 2,2 – 2,3 с. При расположении 100 трасс ВО в том же секторе время задержки

становится более 7,5 с и последующие кодограммы должны «стирать» предыдущие как потерявшие актуальность.

На рисунке 5.9 представлено семейство зависимостей – плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных, с учетом равномерного пространственного расположения ВО во всей зоне обнаружения РЛС.

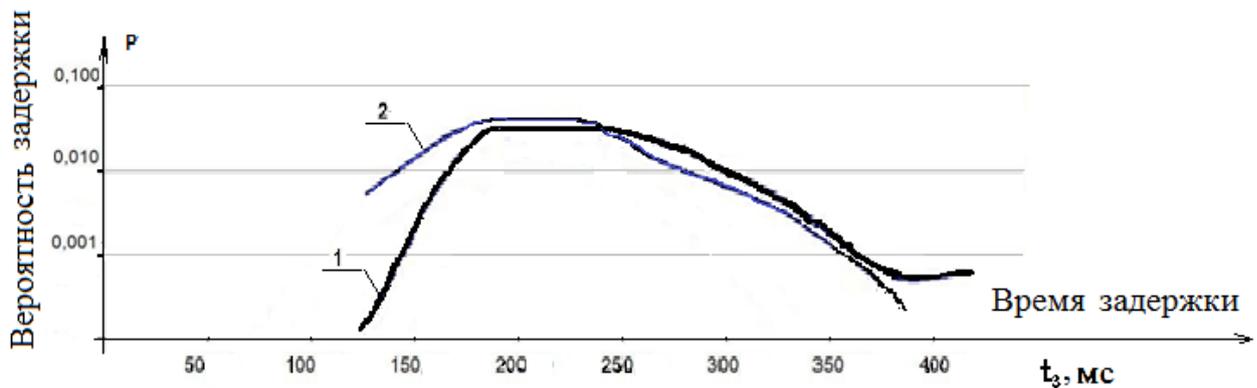


Рисунок 5.9 – Плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных

На этом рисунке кривая 1 соответствует наличию во всей зоне обнаружения 60 трасс ВО, кривая 2 – 70 трасс ВО.

Из рисунка 5.9 следует, что время задержки выдачи кодограмм в канал связи увеличивается, не превышая при этом значения 400 мс.

По практическим данным можно предположить, что экспериментальные графики плотности вероятности временных задержек сообщений о ВО подчинены распределению Пуассона или распределению Рэлея.

Распределение Пуассона

Пуассоновская модель обычно описывает схему редких событий: при некоторых предположениях о характере процесса появления случайных событий число событий, происшедших за фиксированный промежуток времени или в фиксированной области пространства, часто подчиняется пуассоновскому распределению.

Если количество испытаний n достаточно велико, а вероятность P появления

события A в отдельно взятом испытании весьма мала (0,05-0,1 и меньше), то вероятность того, что в данной серии испытаний событие A появится ровно m раз, можно приближенно вычислить по формулам:

$$P = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda}, \quad (5.11) \quad \lambda = np. \quad (5.12)$$

Стоит отметить, что это распределение по большей части зависит от параметра λ (математического ожидания), которое определяет максимум на графике плотности распределения Пуассона. На рисунке 5.10 представлено распределение Пуассона для графиков экспериментальных данных, приведенных на рисунке 5.8.

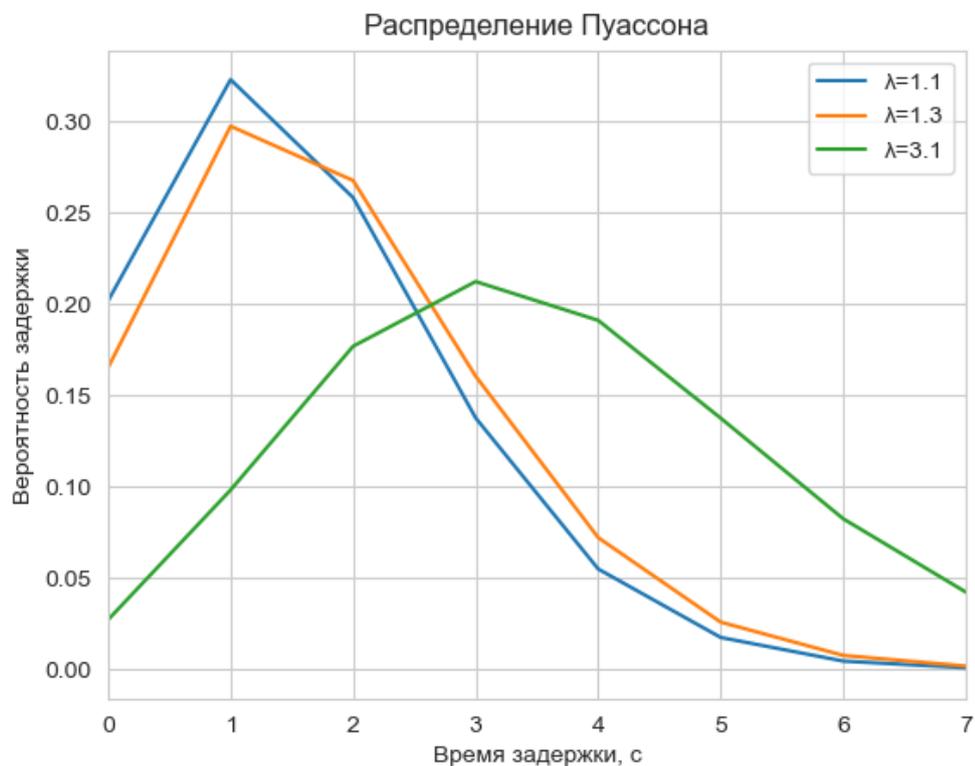


Рисунок 5.10 – Теоретические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных без интерполяции

Графики представляют собой ломаные линии ввиду того, что распределение является дискретным. Для того, чтобы приблизить теоретический график и посчитать максимальное и среднее отклонения была проведена интерполяция базисными сплайнами с использованием модуля `interpolate` библиотеки `scipy`.

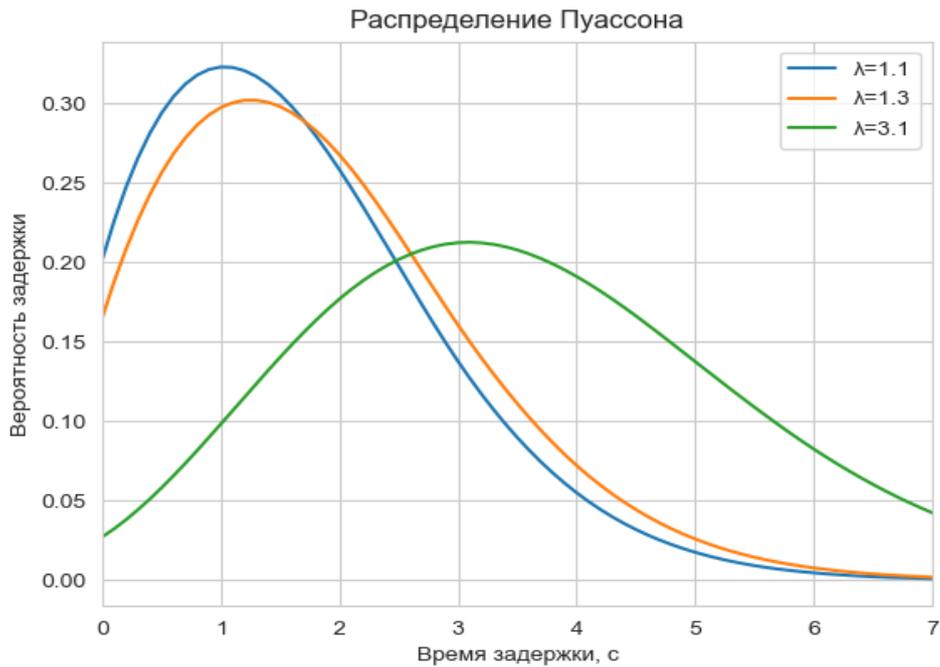


Рисунок 5.11 – Теоретические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных с интерполяцией

В таблице 5.3 приведены значения невязки экспериментальных значений плотности распределения вероятностей с теоретической.

Таблица 5.3 Значения невязки

Значение λ на графике	Максимальное отклонение	Среднее отклонение
1,1	0,0194=1,94%	0,055=5%
1,3	0,1342=13,42%	0,12=12%
3,1	0,195=19,5%	0,185=18,5%

Можно отметить, что с ростом значения λ среднее и максимальное отклонения увеличиваются.

Распределение Рэля

Распределение Рэля— это распределение вероятностей случайной величины X с плотностью

$$P = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad \sigma > 0. \quad (5.13)$$

Применив интерполяцию базисными сплайнами, получим графики распределения Рэля применительно к графикам экспериментальных временных задержек, приведенных на рисунках 5.8, 5.9.

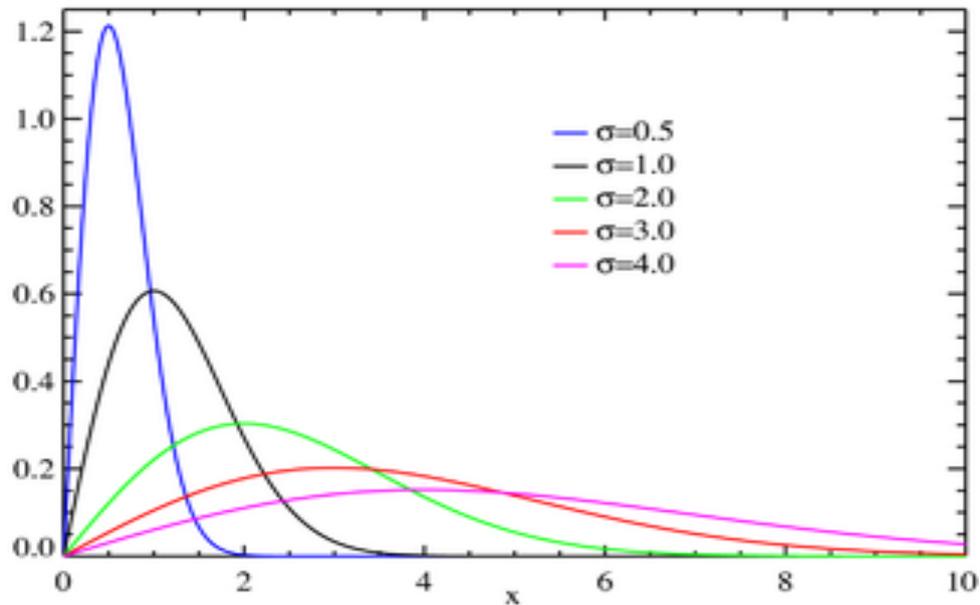


Рисунок 5.12— Распределение Рэля применительно к графикам экспериментальных задержек в соответствии с рисунками 5.8, 5.9

Распределение Рэля справедливо для относительно небольших количеств измерений.

С использованием платформы Spyder и библиотеки seaborn были построены плотности распределения вероятностей для плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных, когда воздушные объекты сосредоточены в секторе 90° .

Теоретическая зависимость распределения Рэля представлена на рисунке 5.13.

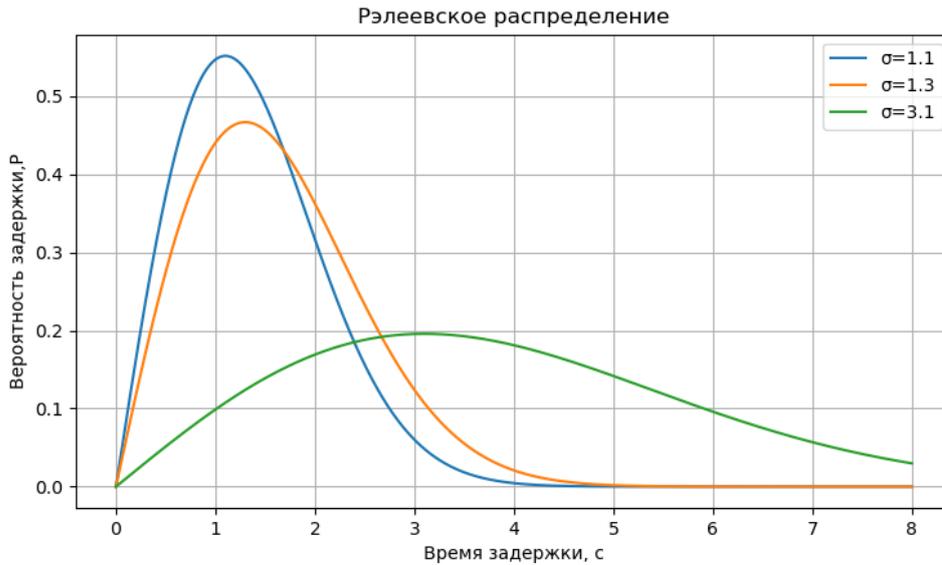


Рисунок 5.13 – Теоретические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных

Значения невязки по сравнению с экспериментальными данными показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 Значения невязки

Значение σ на графике	Максимальное отклонение	Среднее отклонение
1.1	0,2=20%	0,32=32%
1.3	0,3=30%	0,35=35%
3.1	0,18=18%	0,17=17%

Из анализа значений невязки таблиц 5.3, 5.4 можно сделать вывод, что распределение Пуассона более точно подходит, чем распределение Рэлея, для описания эксперимента с большим количеством измерений, что достаточно хорошо согласуется с теоретическим представлением о распределении Пуассона, как распределения для «очередей с ожиданием».

Проведенные эксперименты и вычисления позволяют сделать выводы о том, что значения времени задержки могут составлять величины, существенно ухудшающие достоверность и своевременность информации.

В свою очередь, этот факт означает, что при поступлении сообщений о ВО по низкоскоростным каналам передачи данных в информационную систему сетевой структуры в некоторых случаях пространственного расположения ВО необходимо учитывать разницу между временем локации ВО и временем передачи в канал, как параметра, который может определять необходимость экстраполяции сообщений о ВО перед сетевой обработкой.

Можно сделать вывод, что для построения информационной системы сетевой структуры на практике необходимо обеспечить нормальное распределение на её входе и выходе, не допустить перехода нормального распределения в пуассоновское и тем самым нарушить функционирование системы, основанной на критерии минимизации времени нахождения информации в ней.

5.5 Выбор архитектуры построения комплексов средств оперативно-командной громкоговорящей и телефонной связи на основе сравнительного анализа пропускной способности при максимальной нагрузке и рекомендации по их применению в составе терминалов автоматизированной системы обработки и обмена информацией [79, 208]

Комплексы средств связи (КСС) являются важной составной частью системы обмена информацией. Они обеспечивают оперативно-командной (ОКС), громкоговорящей (ГГС) и телефонной связью (ТФС) расчеты пунктов управления. Комплексы средств связи выполняют эти функции в информационной системе ВКС и в информационной системе ФСР и КВП. В то же время, построение современных цифровых КСС имеет определенные особенности.

Анализ основных особенностей построения и функционирования современных цифровых КСС

На первый взгляд КСС может быть построен на основе доработанных цифровых АТС. К сожалению, это не совсем верное решение, к которому обратился ряд разработчиков [152, 176]. Основой АТС, даже самых современных, являются коммутационные поля с ориентацией на установление парных связей между двумя

абонентами, с ограниченным числом конференций как факультативной функцией. Все АТС построены как системы массового обслуживания с конструктивно заложенными отказами в соединении при превышении определенного трафика (абонентской нагрузки), что абсолютно недопустимо для систем боевого управления. Система боевой ГГС требует установления одновременно большого количества конференций и циркуляров как основного режима работы. Принятые в телефонии интерфейсы и протоколы обмена и синхронизации не обеспечивают требуемую для ГГС оперативность установления связи (не более 0,1 с), требуемую живучесть сети при ее массовых повреждениях. Всё вышеизложенное фактически определяет достаточно специфическую архитектуру коммутатора КСС и предъявляет высокие требования к его производительности.

Основные информационно-технические характеристики транспортной или корпоративной сети и комплексов средств связи, входящих в неё, которые определяют возможности по предоставлению гарантированного качества услуг для пользователей и работоспособности сети в целом, опираются на теорию массового обслуживания, основными понятиями которой являются: режимы обслуживания, потоки заявок (трафик), закон распределения времени обслуживания одним каналом, вероятности отказов в обслуживании, среднее время ожидания в очереди на обслуживание, пропускная способность системы обслуживания.

Основными информационно-техническими характеристиками являются:

- пропускная способность транспортных магистралей или базовые скорости передачи информации;
- объем входящего и исходящего трафиков в сетевых узлах;
- суммарный трафик в сетевых трактах и магистралях сети;
- надежность или коэффициент готовности сети в целом.

Следует отметить, что общепринятые расчеты и характеристики сети (комплекса) связи не совсем применимы к объектовым комплексам связи, так как в качестве основного требования в этих комплексах, наряду с традиционными надежностью (вероятностью отказа) и обеспечением допустимого времени соединения и

ожидания абонента, выступает обеспечение функционирования в режиме максимальной нагрузки.

С середины 90-х годов широкое распространение в КСС получили цифровые АТС, как имеющие расширенные возможности по программированию режимов работы (режим прямого набора номера, конференц-связь, приоритетные абоненты и др.). Вместе с тем, внутренняя архитектура цифровых АТС основана на принятых нормах, которые, в свою очередь являются выводами из теории массового обслуживания. Требования к КСС, размещаемых на пунктах управления, в первую очередь определяются возможностями работы в условиях максимальной нагрузки и массовых повреждениях сети (абонентских (АЛ) и соединительных линий (СЛ)), а не обеспечением среднего трафика в течение некоторого времени эксплуатации.

Определим сравнительные характеристики КСС, основываясь на базовых технических характеристиках существующих цифровых АТС и основных положениях теории массового обслуживания. Теория массового обслуживания изучает системы и ситуации обслуживания случайного потока заявок (требований) ограниченным числом предназначенных для этого каналов [182, 183]. По истечении некоторого случайного времени обслуживания $T_{об}$ канал готов к работе над следующей заявкой. Такая ситуация характерна для систем коммутации (телефонных станций, АТМ-коммутаторов и т.п.) в сети связи, билетных кассах, системах опознавания, активного запроса и ответа и др.

При решении различных инженерных задач с использованием методов теории массового обслуживания часто полагают, что потоки, определяющие различные случайные процессы, описываются распределением Пуассона [182, 183]. Такой подход не только упрощает анализ, но и во многих случаях довольно близко отражает реальные процессы. Примем режим работы ЦАТС как режим с отказами, трафик как стационарный и ординарный.

Требование на обслуживание количественно можно представить в единицах трафика. Единицей измерения плотности трафика является эрланг. Общая плотность потока заявок на обслуживание или плотность трафика E определяется суммой средних требований на обслуживание всех входов одним каналом за единицу

времени (или относительное значение среднего времени обслуживания одним каналом), равную одному часу [182, 183]:

$$E = T_{обср}/T = (Ct_{cp})/T, \quad (5.14)$$

где C – число вызовов за время T ; t_{cp} – средняя длительность вызовов; $T_{обср}$ – среднее время обслуживания одним каналом.

Для оценки качества обработки трафика используется плотность трафика E/N , соответствующая периоду максимальной нагрузки или периоду пиковой нагрузки на один канал. Целью оптимального проектирования системы связи является обеспечение для заданного числа входов N (количества абонентов) максимально возможного значения удельной плотности трафика E , или отношения E/N . Допустимое значение E/N должно соответствовать приемлемому значению показателя качества обработки трафика, за которое принята вероятность занятости всех выходов одновременно, т.е. вероятность события, приводящего к потере вызова. Из этого следует, что вероятность потери одного вызова P_N в системе связи с N входами в периоды пиковой нагрузки является показателем качества обработки трафика. Понятно, что чем больше N , тем меньше P_N , но тем выше качество обработки трафика, так как общая нагрузка распределяется между большим числом выходов (каналов).

Зависимость вероятности потери вызова P_N от плотности потока заявок на обслуживание (плотности потока трафика) E , числа входов N в системе связи и числа выходов k в предположении, что трафик формируется случайным образом, определяется формулой Эрланга [182], для случая полнодоступности выходов $k=N$ формула Эрланга имеет вид:

$$P_N = \frac{(E/N)^N}{N!} \sum_{k=0}^N \left(\frac{(E/N)^k}{k!} \right)^{-1}, \quad (5.15)$$

где E/N – относительное значение среднего времени обслуживания одним каналом или плотность потока событий (плотность трафика в эрлангах); N – число абонентов сети (входов); k – число выходов. Формула Эрланга [182] применяется при

числе абонентов 100-200 и более. Используя формулу, можно построить графические зависимости отношения E/N от P_N при разных значениях числа абонентов N (рис. 5.14).

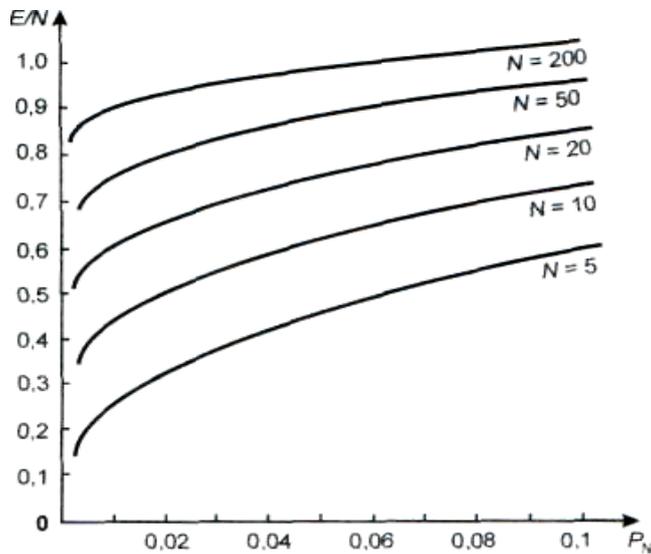


Рисунок 5.14 – Зависимости удельной плотности трафика E/N , переносимого одним каналом (выходом), от вероятности P_N потери одного вызова

Зависимости, показанные на рисунке 5.14, соответствуют случаю полной доступности трафика, т.е. весь трафик имеет доступ ко всем выходам коммутационного узла в системе связи. В электронных коммутационных системах имеется возможность электронного сканирования выходов и выбора свободных (неиспользуемых) выходов для обеспечения доступа трафика в пределах ко всем выходам при больших значениях N , что позволяет повысить эффективность системы коммутации при хорошем показателе качества обслуживания трафика. В рассматриваемом примере для значения показателя качества обслуживания трафика $P_N = 0,005$ при увеличении числа абонентов N от 10 до 200 эффективность системы коммутации возрастает в 2 раза. При малых значениях N эффективность повышается, если применяется градиентная система, особенность которой состоит в том, что позднее выбираемые выходы становятся доступными все большему числу входов.

На основе формулы (5.15) построены таблицы Эрланга для разного числа каналов N и заданной вероятности блокировки (отказов) хотя бы одного из каналов. Используя таблицы Эрланга, можно определить максимальную плотность трафика

E в эрлангах для заданного значения вероятности отказа P_N и заданного числа каналов между узлами сети. Например, для числа каналов $N = 100$ при вероятности блокировки трафика $P_N = 0,01$ отказы возникают при плотности трафика в 84,064 Эрл. В таблице 5.5 представлены некоторые данные из таблиц Эрланга [182, 183].

Таблица 5.5 – Зависимость максимальной плотности трафика E при заданной вероятности отказов P_n от числа каналов N

Число каналов, N	$P_N = 0,005$	$P_N = 0,01$
30	19,034	20,337
60	44,757	46,950
100	80,064	84,064
120	99,382	102,964
300	270,408	277,125
600	562,291	573,076
1000	955,865	971,204

Отметим также, что недостатком коммутационных систем с большим числом выходов N является повышенная чувствительность к перегрузкам. Так, например, при 10%-ной перегрузке в коммутационной системе с показателем качества обработки трафика $P_N = 0,005$, его значение возрастает до 0,024 (то есть качество обработки трафика снижается), если в системе имеется 200 выходов, и только до значения 0,007, если в ней 5 выходов.

Сравнение пропускной способности разных типов КСС с использованием нормативных показателей цифровой системы связи

Рассмотрим комплекс связи, построенный на основе ЦАТС и имеющий для примера 1000 абонентов. В цифровой системе связи приняты следующие нормативные показатели [184]: телефонная нагрузка, обслуживаемая одной АЛ, – до 0,2 Эрл и телефонная нагрузка, обслуживаемая одной СЛ, – до 0,8 Эрл.

Для случаев обеспечения управления в кризисных ситуациях и боевой работы, когда загрузка максимальна, очевидно, что суммарная пропускная способность ЦАТС составляет 200 Эрл. При этом между собой соединены только 200 абонентов из 1000 подключенных к ЦАТС. Остальные 800 абонентов не будут обслужены и получают отказ, за исключением случая, когда используется режим конференции, разрешенный в ЦАТС как факультатив⁵.

Для расчета суммарной пропускной способности КСС с обслуживанием без отказов используем зависимость максимальной плотности трафика E при заданной вероятности отказов P_n от числа каналов N , которая отражена в таблице 5.1. При этом считаем, что вероятность потери одного вызова составляет 0,005 для КСС с обслуживанием без отказов в соответствии с принятыми техническими характеристиками [177]. Очевидно, что для 1000 абонентов суммарно обеспечиваемый трафик составляет более 955 Эрл. Это соответствует обеспечению связью более чем 955 абонентов.

Анализ расчетов дает следующую сравнительную оценку пропускной способности КСС различных типов:

1. Максимальное число обслуживаемых одновременно абонентов комплексами различных типов отличается примерно в 4,5 раза. При этом не учитывается возможность КСС, построенного по принципу «обслуживания без отказов», обеспечивать «вложенные» конференции в любом сочетании. Очевидно, что массовой потери связи при максимальной нагрузке при использовании комплекса, построенного по принципу «обслуживания без отказов», не произойдет.

2. Комплекс, построенный на основе ЦАТС, чувствителен к перегрузкам, возникающих при приближении к пиковым нагрузкам, а комплекс ГГС, построенный по принципу «обслуживания без отказов», не реагирует на резкое увеличение нагрузки и обеспечивает соединение абонентов в любых условиях.

Сравнение пропускной способности комплексов средств связи УКОС и «Ива-ЦС»

⁵ Для упрощения расчетов режим «конференция в конференции» не рассматривается.

Для оценки качества функционирования систем коммутации рассчитаем значение вероятности отказа P_N в обслуживании вновь поступившего требования в систему. Вероятность отказа является основным показателем, который будем использовать при сравнении комплексов и телефонных станций различных типов. В нашем случае сравниваемыми комплексами являются: УКОС [176], использующий в качестве базовой архитектуры офисную ЦАТС, и комплекс «ИВА-ЦС» [177], основанный на системе коммутации без отказов в обслуживании. Оба комплекса средств связи применены в ряде современных изделий ВВТ.

Следует отметить, что результаты расчетов при максимальной пиковой нагрузке будут содержать погрешность. Она обусловлена неидеальностью методического аппарата, используемого для проведения расчетов. В связи с этим, наряду с приведенными выше формулами, необходимо пользоваться известными таблицами и номограммами [178, 179, 180, 181].

Проведем расчет вероятности отказа P_N для следующих исходных данных.

Комплекс УКОС [176] в базовой комплектации обеспечивает подключение к полю коммутации 8-ми абонентских (соединительных) линий и 2-х каналов связи с удаленными пунктами управления. Источниками нагрузки являются пульта связи и телефонные аппараты. Коммутационное поле полностью доступно. Время коммутации не превышает 0,1 с, что значительно меньше времени переговоров, поэтому в дальнейшем времени коммутации можно пренебречь. Вероятность ложной адресации, переадресации и отказа устройства коммутации комплекса менее 10^{-6} . Из вышесказанного следует, что объект расчета полностью соответствует принятым ограничениям и допущениям. Это позволяет воспользоваться формулой Энгсета, которая применяется при общем числе абонентов менее 100 [180]:

$$P_N = \frac{C_{N-1}^i \left(\frac{E/N}{1-E/N} \right)^i}{\sum_{j=0}^j \left(C_{N-1}^j \left(\frac{E/N}{1-E/N} \right)^j \right)}, \quad (5.16)$$

где C_{N-1}^i – параметр, определяемый соотношением числа вызовов и занятых линий, по формуле

$$C_{N-1}^i = \frac{N(N-1)\dots(N-i+1)}{i!}, \quad (5.17)$$

где i – число занятых линий, а C_{N-1}^j – параметр, определяемый соотношением числа вызовов и общим числом выходных линий; j – общее число линий.

Результаты расчетов вероятности отказа P_N приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Вероятность отказа комплекса УКОС

Поступающая удельная нагрузка	Количество каналов связи	
	1	2
0,1	0,437	0,127
0,25	0,7	0,41
0,5	0,875	0,724
0,75	0,954	0,895
0,9	0,984	0,961
0,95	0,99	0,98
0,99	0,999	0,997

Анализ результатов расчетов значений вероятности P_N , произведенных с использованием таблиц и номограмм, содержащихся в работах [179, 180], показывает, что полученные значения вероятности P_N практически совпадают с данными таблицы 2. При этом отметим, что значения удельной поступающей нагрузки более 0,5-0,75 практически не рассматриваются в известной литературе, что объясняется невозможностью функционирования любой системы массового обслуживания в таких условиях.

При расчете вероятности отказа комплекса «Ива-ЦС» [177], имеющего 36 выходов и построенного по принципу «обслуживания без отказов», воспользуемся таблицей 1 и графиком, представленным на рисунке 1, для заданной вероятности $P_N = 0,005$. Полученные значения максимальной пропускной способности находятся в пределах 19-20 Эрл при удельной нагрузке 0,7 Эрл/канал.

Полученные результаты показывают, что комплекс УКОС при удельной

нагрузке 0,75 Эрл/канал имеет вероятность отказа 0,895-0,954, а комплекс «Ива-ЦС» при удельной нагрузке 0,7 Эрл/канал сохраняет заданную вероятность отказа 0,005.

Вместе с тем, отметим, что для ЦАТС при обслуживании с ожиданием, результаты расчета вероятности отказа с использованием номограмм и таблиц [178], будут отличаться. Так, например, при значениях удельной поступающей нагрузки более 0,9 вероятность отказа в обслуживании вновь поступившего требования в систему P_N не превышает 0,5-0,65. При возрастании значения времени ожидания вероятность отказа в обслуживании вновь поступившего требования в систему P_N снижается вплоть до 0,1-0,25.

Анализ результатов этих расчетов показывает, что при максимальной пиковой нагрузке вероятность отказа в обслуживании КСС, построенного на основе ЦАТС, приближается к единице. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию числа повторных вызовов и лавинообразному увеличению нагрузки. Чтобы не допустить такого резкого возрастания нагрузки, необходимо вводить систему приоритетов и обслуживание с ожиданием. При этом наивысший приоритет должны иметь наиболее важные переговоры.

Отметим, что теория массового обслуживания не позволяет оценить с высокой точностью вероятность отказа в обслуживании P_N при нагрузках систем связи, близких к максимальным. Для получения сравнительной оценки КСС в условиях максимальной нагрузки оценим производительность КСС с учетом архитектуры, заложенной в основу их построения. Введем понятие «транзакции». Под транзакцией будем понимать событие соединения абонент – абонент. Для ЦАТС с 1000 абонентами количество транзакций будет составлять 400 (200 обслуженных абонентов из 1000), а для КСС без отказов в обслуживании – 1910 (955 обслуженных абонентов из 1000). При этом, для комплекса без отказов в обслуживании, в пике максимальной нагрузки продолжительностью, например, до 1 часа, допускается наличие вложенных конференций любого порядка, прерывание или соединение любого абонента или набора абонентов. То есть, в простейшем примере, все абоненты могут находиться в режиме циркулярной связи (1910 транзакций), и каждый

из них может одновременно осуществлять отдельную связь с любым абонентом без отключения циркуляра (дополнительно еще 1910 транзакций). Этот режим удовлетворяет стандартному варианту работы в экстремальных и кризисных ситуациях.

Результат сравнения комплексов с ЦАТС и комплексов без отказов в обслуживании по транзакциям показывает более высокую производительность (400 и 3820) последнего более чем в 9 раз. Кроме того, применение схем построения комплексов связи, имеющих в основе перепрограммированные ЦАТС, в условиях максимальной нагрузки совершенно неэффективно, так как может привести к срыву выполнения задач по причине массовых отказов в обслуживании абонентов. Приближение нагрузки к максимальной характерно для систем управления, например, при возникновении и ликвидации кризисной ситуации.

Необходимо также иметь в виду, что важным показателем комплексов связи является качество цифровых каналов, определенным вкладом в улучшение которого является применение алгоритмов эхокомпенсации и шумоподавления [208].

Полученное сравнение эффективности разных архитектур КСС приводит к следующим выводам и рекомендациям:

- 1 Для комплексов связи, применяемых на пунктах боевого управления и пунктах управления в кризисных ситуациях, предпочтительнее построение архитектуры по принципу «без отказов в обслуживании».

- 2 На этапе проектирования комплексов связи, в основу которых положены ЦАТС, число абонентов и входов-выходов необходимо рассчитывать, исходя из нагрузки не более 0,5 от максимальной, то есть ЦАТС должны быть выбраны с запасом по числу абонентов минимум в 2 раза превышающем реальные значения. При этом совершенно необходимым является введение в технические условия проверки работоспособности комплексов связи в условиях максимальной нагрузки.

- 3 Комплекс средств связи, построенный по архитектуре «без отказов в обслуживании», целесообразно использовать в составе шлюза речевой информации, как составной части терминала обработки РЛИ.

5.6 Рекомендации по обоснованию структуры терминала обработки РЛИ и

его использованию как базовой ячейки АСООИ, входящей в состав АСУ сетевой структуры.

5.6.1 Практические рекомендации по обоснованию структуры построения терминала обработки РЛИ [174]

Терминал обработки РЛИ может иметь различные варианты исполнения в зависимости от решаемых задач, пространственного размещения радиолокационных средств и пунктов управления, технических возможностей как систем связи и передачи данных, так и средств передачи данных источников и потребителей. Одним из наиболее оптимальных представляется вариант исполнения терминала обработки РЛИ, структурная схема которого показана на рисунке 5.15.

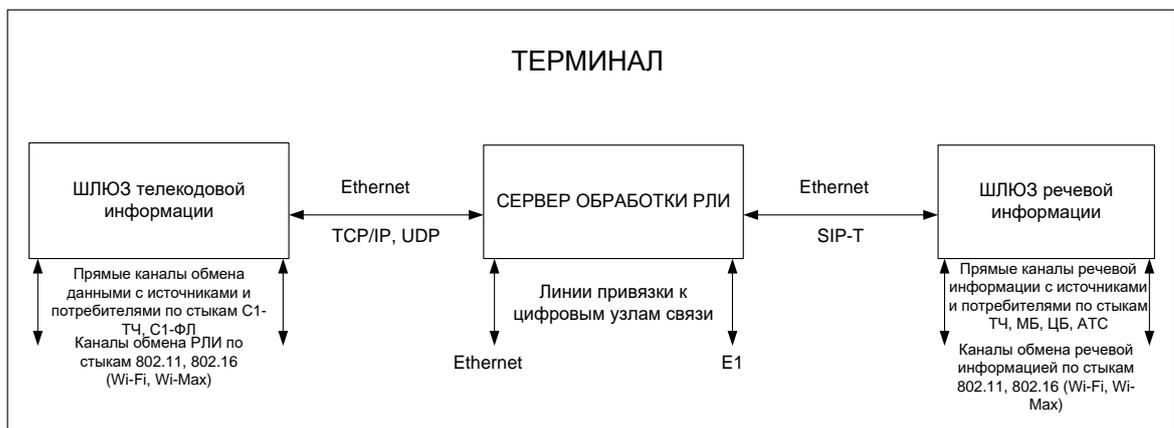


Рисунок 5.15 – Структурная схема терминала обработки РЛИ

Терминал обработки РЛИ состоит из 3-х блоков: сервера обработки РЛИ, шлюза телекодовой информации (ТКИ) и шлюза речевой информации (РИ). Размеры каждого блока 19”3U, общий вес терминала не более 30 кг, потребляемая мощность не более 600 Вт, напряжение питания 27 В и 220 В.

Блок сервера обработки РЛИ (СОРЛИ) взаимодействует со шлюзами ТКИ и РИ по стыку «Ethernet» и протоколам TCP/IP (UDP) и SIP-T соответственно.

В состав блока СОРЛИ входят субблоки, обеспечивающие обмен информацией по стыкам «Ethernet» и E1 с цифровыми узлами связи Министерства обороны или Министерства связи (Единой системой электросвязи).

На рисунке 5.16 представлен предлагаемый состав блока СОРЛИ.

БЛОК СОРЛИ				
ЭВМ СОРЛИ	МС-5	Е1	КЛВС	Субблок электро- питания

Рисунок 5.16 – Состав блока СОРЛИ

На рисунке 5.17 показан предлагаемый состав блока шлюза ТКИ. В состав шлюза ТКИ должны входить: многоканальная аппаратура передачи данных (АПД), имеющая 8 каналов, субблоки – коммутатор локальной вычислительной сети (ЛВС), ЭВМ преобразования протоколов (ЭВМ ПП), а также ЭВМ дополнительной подготовки РЛИ (ЭВМ ДП РЛИ) для выдачи потребителю. ЭВМ дополнительной подготовки РЛИ обеспечивает формирование РЛИ в соответствии с заявкой потребителя: по темпу выдачи (при необходимости РЛИ экстраполируется), по типу сглаживания и т.п. (в соответствии с разделом 2). Коммутатор ЛВС (КЛВС) кроме обеспечения взаимодействия с блоком СОРЛИ выполняет функцию обмена РЛИ с источниками и потребителями по системам широкополосного беспроводного доступа, которыми в настоящее время оснащается ряд РЛС и КСА.

БЛОК ШЛЮЗА ТКИ				
АПД	ЭВМ ПП	ЭВМ ДП РЛИ	КЛВС	Субблок электро- питания

Рисунок 5.17 – Состав блока шлюза ТКИ

На рисунке 5.18 показан предлагаемый состав блока шлюза речевой информации. В состав шлюза РИ должны входить: субблоки преобразования различных типов стыков, применяющихся в существующей системе связи; коммутатор цифровых речевых сообщений (КЦРС), построенный по принципу комплекса связи без отказов в обслуживании [71, 72, 79]; маршрутизатор; коммутатор ЛВС.

БЛОК ШЛЮЗА РИ				
КЦРС	Маршрутизатор	Субблоки стыков ТЧ, МБ, ЦБ, АТС	КЛВС	Субблок электропитания

Рисунок 5.18 – Состав блока шлюза РИ

Представленный вариант терминала АСООИ реализован в фрагменте информационной системы полносвязной сетевой структуры в ходе проведения ОКР «Азалия» [174].

5.6.2 Рекомендации по применению терминала обработки РЛИ как базовой ячейки АСООИ, входящей в состав АСУ сетевой структуры

Терминалы обработки РЛИ позволяют представить функциональные объекты структуры обмена информацией в функционально однородные («дейтацентрические») объекты, «прозрачные» с точки зрения сетевой структуры в аппаратном и программном плане. Предлагаемая схема формирования объектов и включения их в общую сетецентрическую структуру представлена на рисунке 5.19.

В соответствии с предлагаемой схемой формирования однородных объектов для подключения к сетецентрической структуре достаточно подвести к каждому объекту только одну высокоскоростную линию обмена информацией. При условии её резервирования объект будет сохранять живучесть и возможность обмена РЛИ в сети.

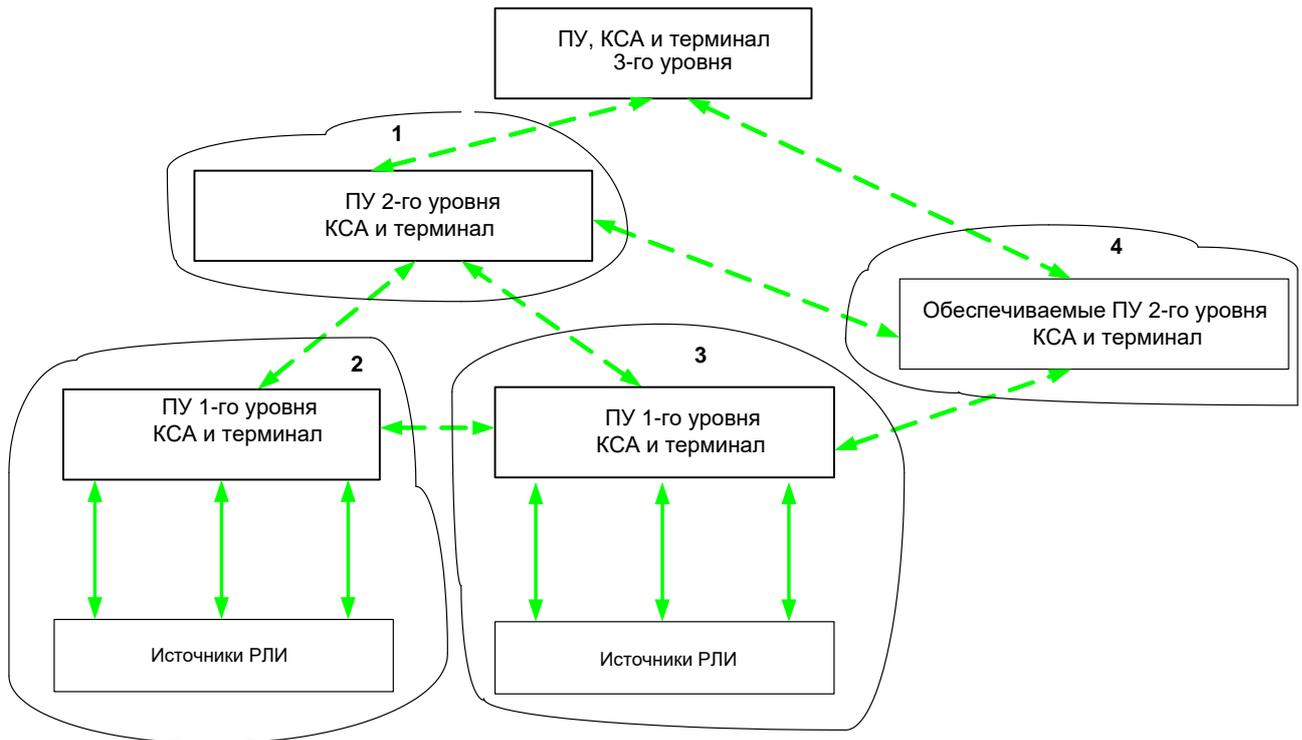


Рисунок 5.19 – Схема формирования функционально однородных (дейтацентрических) объектов

Терминалы позволяют обмениваться информацией по действующим протоколам и стыкам существующим средствам – источникам, потребителям на период одновременного функционирования существующей и сетевой систем без ограничений. Вместе с тем, в подобной сетевой структуре появляется совершенно новая возможность – обеспечения ситуационной осведомленности подключенных органов управления, подразделений, информацией об обстановке в масштабе времени, близком к реальному. Кроме того, существенное сокращение времени задержки РЛИ при обработке в сетевой структуре позволяет наиболее полно использовать её в интересах решения задач огневого поражения опасных объектов.

Современные технические возможности позволяют создавать подобные терминалы (шлюзы), обеспечивающие пропускную способность 2-4 Мбит/с [64, 150, 152] при удалении от позиций подразделений ЗРВ (РТВ) или от узлов связи Министерства связи РФ до 10-12 км по типовым полевым кабельным линиям, по средствам сверхширокополосной радиосвязи [163]. Суммарный трафик АСООИ обеспечивается возможностями магистральных цифровых сетей связи, например, [153].

Предложены и другие технические решения, например, с применением

средств и систем спутниковой связи [95, 97], позволяющие осуществлять сбор РЛИ для обработки на практически неограниченных удалениях источников от потребителей.

5.7 Построение информационной системы сетевой структуры для обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды [82, 83]

Автоматизированная система обработки и обмена радиолокационной информацией относится к классу специализированных, которые для своего функционирования не требуют подключения к цифровым сетям Internet. Скорее наоборот, именно узкой специализацией подобных систем объясняется тот факт, что подключение к сетям общего доступа является нежелательным. Вместе с тем, специализированность не требует такого широкого набора функций и наличия большой пропускной способности, которые имеются в сетях общего пользования.

Рассмотрим вариант построения структуры АСООИ, который технически и организационно максимально удален от Internet-сетей общего пользования, то есть система является искусственно более «закрытой», чем это принято в общих подходах построения систем обработки данных и управления, а также, вследствие ограничений на используемые протоколы обмена данными и по пропускной способности, имеет достаточно простую и доступную реализацию. Эта возможность является существенной в современных условиях обеспечения импортозамещения.

Специализированная автоматизированная система обработки и обмена РЛИ имеет полносвязную сетевую структуру и в своей основе построена по критерию минимизации времени нахождения информации в системе, то есть время задержки при вводе информации в систему и при обработке в узлах системы имеет решающее значение для обеспечения эффективности её функционирования.

В комбинированном варианте при совместной работе существующей и перспективной систем обработки информации структура специализированной системы была представлена в подразделе 2. Повторим этот рисунок под номером 5.20:

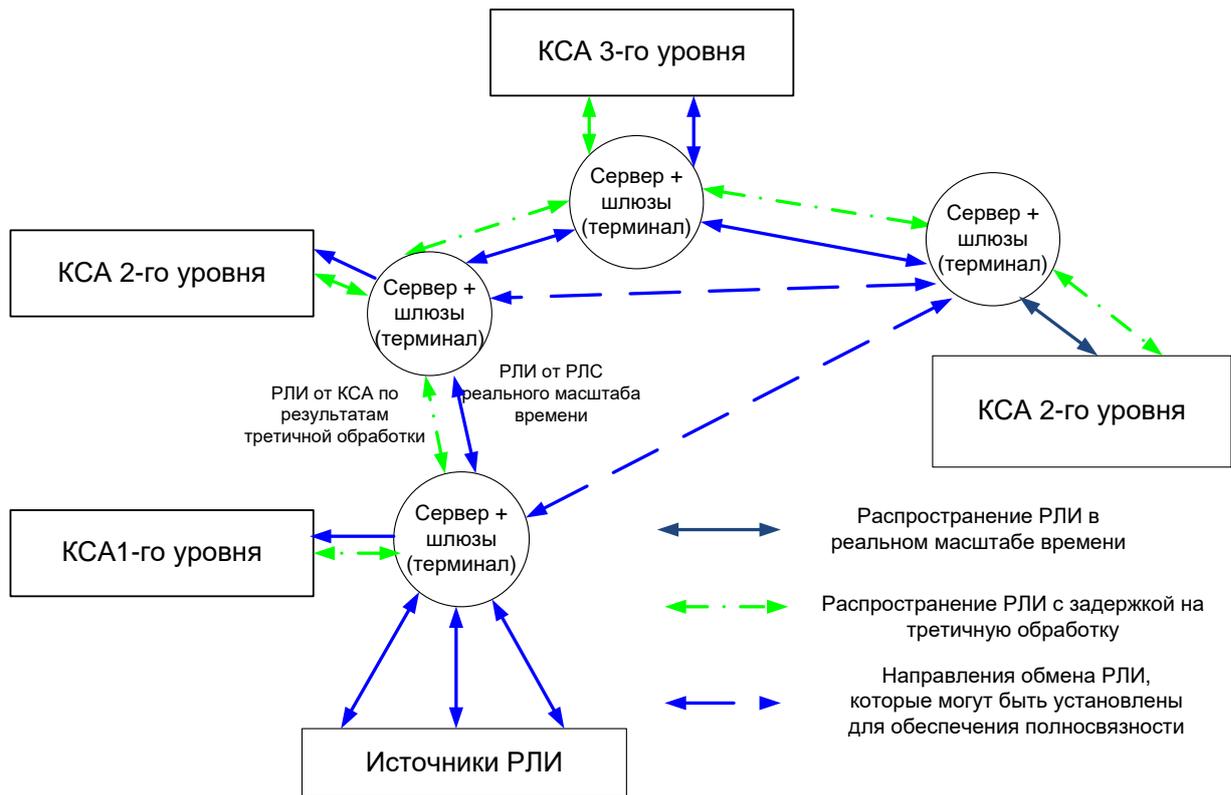


Рисунок 5.20 – Структура специализированной системы обработки и обмена РЛИ в комбинированном варианте

Обработка РЛИ производится на серверах, которые, в свою очередь, являются составной частью терминалов. Терминалы имеют в своем составе шлюзы, выполняющие функцию конвертации протоколов информации, получаемой от источников, в единый протокол, используемый при обработке и обмене информации в системе.

С одной стороны, минимизация времени нахождения информации в системе требует уменьшить количество узлов, при прохождении которых возможно возникновение временных задержек. В первую очередь эти задержки связаны с использованием пакета протоколов прикладного, сетевого, транспортного и канального уровней TCP/IP [185], в которых приоритет может быть отдан, без применения специальных мер, пакетам IP-телефонии и видео реального времени.

С другой стороны, при обмене информацией в сети Internet имеется возможность несанкционированного доступа к пакетам, обрабатываемым на общедоступных серверах.

Определенным решением этих проблем может быть построение структуры

специализированной системы на основе цифровых потоков плезиохронной цифровой иерархии PDH [186]. В этом случае обработка информации, маршрутизация пакетов осуществляется только на выделенных серверах, составляющих узлы специализированной системы и имеющих специальное программное обеспечение (СПО) обработки и обмена. Промежуточные серверы при этом не нужны, так как они вносят дополнительные задержки и являются точками возможного несанкционированного доступа. В случае же применения плезиохронных систем получение информации из первичных цифровых стыков сопряжено с необходимостью последовательного выделения всех цифровых потоков в соответствии с иерархией, то есть для получения информации из основного цифрового канала ОЦК 64 кбит/с производится демультиплексирование, например, из E3 соответствующего E2, затем E1, и только после этого возможен доступ к соответствующему ОЦК. Это свойство плезиохронных систем на определенном этапе развития являлось их недостатком и требовало наличия большого количества аппаратуры на пунктах выделения каналов, но в данном случае построения специализированной системы обработки и обмена информацией оно является средством для «закрытия» системы от взаимодействия с внешней сетевой средой.

Соответственно, выглядит вполне логичным основать структуру специализированной автоматизированной системы обработки и обмена информацией на узлах (серверах), имеющих в своей основе компьютеры с СПО обработки и маршрутизации, а каналы обмена информацией между серверами обеспечить с помощью средств плезиохронной иерархии, основанных на схеме «точка-точка». На рисунке 5.21 показан вариант построения структуры специализированной системы на основе серверов С1...С5, составляющих основу структуры, и содержащие СПО обработки, маршрутизации и конвертации логических протоколов. К серверам С1 и С2 подключаются по три источника информации. Штриховые линии обозначают возможные линии передачи данными для обеспечения полносвязности структуры. Между серверами С3 и С4, а также между С4 и С5 предполагаются линии большой протяженности (несколько десятков или сотен километров). Преобразования про-

токолов канального и прикладного уровней показаны на рисунке на соответствующих линиях передачи информации.

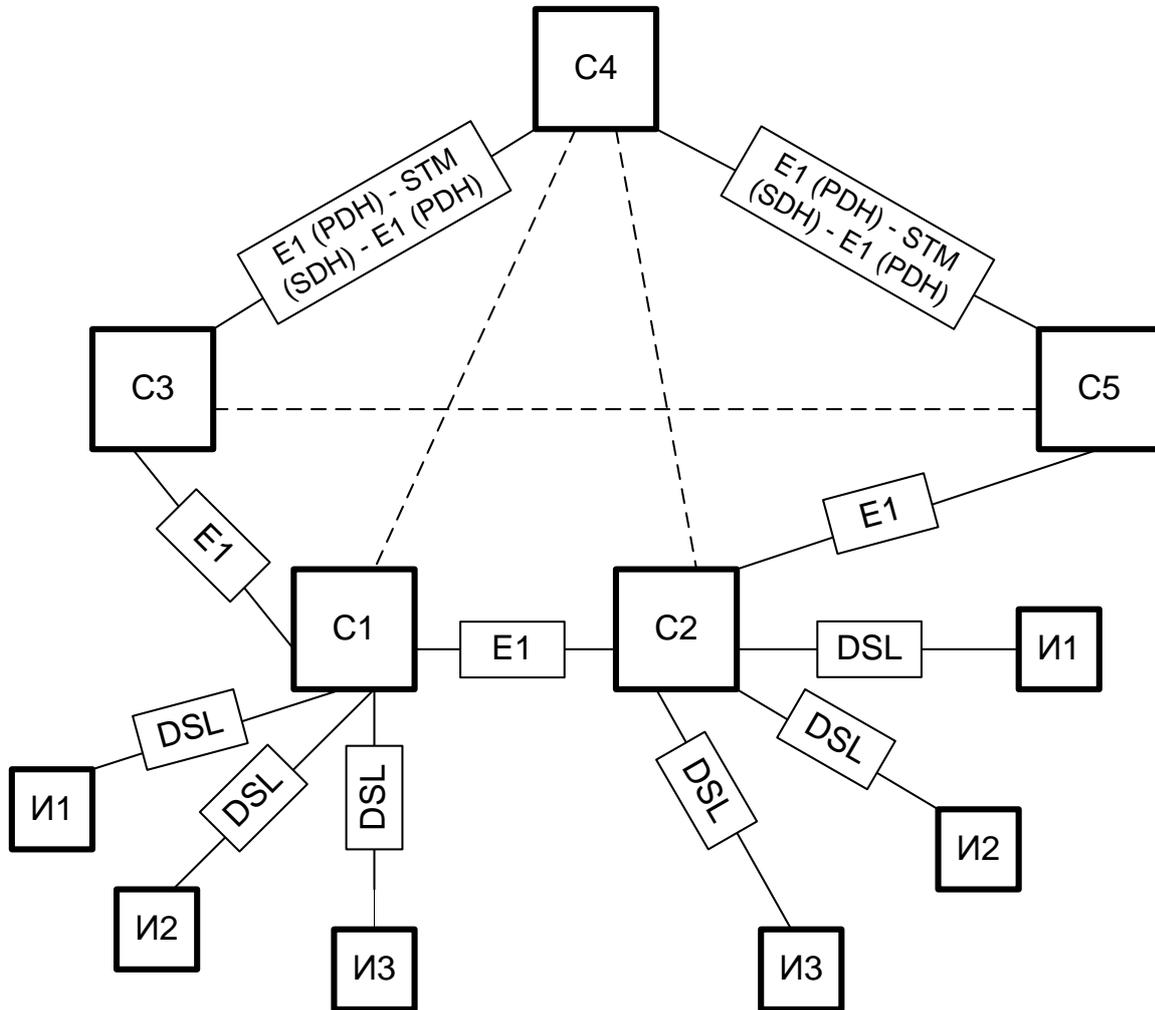


Рис. 5.21. Структура специализированной системы обработки и обмена данными

Кроме указанного недостатка по демультиплексированию всех уровней иерархии до нужного цифрового потока, для PDH систем существенным является ограничение по длине рабочего участка при работе по медным линиям, она составляет всего несколько километров в зависимости от скорости передачи информации. Для практической реализации важны два участка специализированной системы – участок сбора информации от источников до соответствующего узла (сервера) системы, и участки между серверами системы, имеющие большую протяженность –

от нескольких десятков до сотен километров. Решение этих вопросов представляется по-разному для различных случаев.

Особенности передачи информации от источников до узла (сервера) специализированной системы

На участках первичного сбора информации расстояние между источниками и пунктами сбора информации (серверами, терминалами) не превышает, как правило, 10-15 км. В РЛС существующего парка, которые будут эксплуатироваться еще длительное время, как правило, для обмена информацией выделяется физическая линия или канал тональной частоты с пропускной способностью 1,2-9,6 кбит/с, при этом применяются разновидности протокола серии V (наиболее применимые V.22-V.32) [187].

Передача данных с использованием указанного протокола обеспечивается как раз на дальностях 10-15 км. Но низкая скорость передачи данных приводит к временным задержкам при определенной плотности воздушных объектов, информацию о которых необходимо передавать в систему. Требования к минимизации временных задержек в системе обоснованы в [78].

Проведенные эксперименты и вычисления позволяют сделать следующие выводы:

- значения времени задержки могут составлять величины, существенно ухудшающие достоверность и своевременность информации;
- на участке сбора информации от источников до узлов обработки и ввода информации в систему необходимо применять более высокоскоростные линии передачи данных.

В этом отношении очень хорошо подходят протоколы семейства DSL, которые обладают несимметричностью в отношении пропускной способности (от источников скорость передачи информации значительно выше, чем от узлов обработки), а современные технологии позволяют поддерживать скорость передачи данных до 2 Мбит/с на расстояниях до 12-14 км, что фактически полностью устра-

няет возможность перехода нормального или равномерного распределения воздушных объектов на входе источников (в зоне обнаружения воздушных объектов) в пуассоновское на их выходе.

Особенности передачи данных на протяженных участках

После сбора и обработки информации на серверах, являющимися узлами специализированной системы сетевой структуры, происходит конвертация в единый протокол системы обмена и обработки. Обмен между серверами также целесообразно осуществлять с использованием единых стандартов плезиохронной иерархии PDH, которая отвечает требованиям минимизации времени задержки при доставке информации от источников потребителю. Время задержки является составной частью времени нахождения информации в специализированной системе.

Как отмечалось выше, передача данных по стандартам PDH по медным линиям имеет серьезный недостаток – малая длина регенерационного участка. Решение этой проблемы возможно осуществить двумя основными способами. Первый – на протяженных участках осуществлять преобразование стандартов PDH в стандарты SDH с одновременным подключением к магистральным линиям передачи данных, в основном волоконно-оптическим, с использованием конвертеров E1 (PDH) – STM (SDH) [188]. Процесс прямого и обратного преобразования давно освоен при организации и эксплуатации цифровых линий связи, элементная база, применяемая при этом, также освоена отечественной промышленностью и разработчиками. Для обеспечения функционирования специализированной системы с заданной эффективностью необходима такая организация структуры системы, при которой отсутствовали бы промежуточные преобразования из базового потока 155 Мбит/с стандарта SDH, то есть внутри сетевой структуры предпочтительны связи между серверами по схеме «точка-точка».

Второй подход по обеспечению обмена на увеличенные расстояния более высокотехнологичен. Здесь имеется в виду технология «MetroEthernet» – передача синхронных потоков E1 в асинхронной среде Ethernet [189]. Указанная технология

возможна только по схеме «точка-точка» и решается аппаратно-программным способом. Она обеспечивает гарантированную полосу пропускания с гарантированной задержкой, что позволяет синхронизировать цифровые потоки стандарта E1 PDH в асинхронной среде семейства стандартов IEEE 802.3, эмулировать E1 окончание в существующих Ethernet или IP сетях. В ряде случаев такое решение представляется более удобным, при наличии высокоскоростных линий протяженностью до 40 км. Можно допустить, что эти технологические решения в настоящее время ограничено доступны.

При построении специализированной системы не требуется дорогостоящее серверное оборудование, использование магистральных цифровых потоков необходимо только на достаточно больших расстояниях между узлами сети, участки протяженностью 12-14 км реализуются на технологиях и протоколах стандартов DSL. Технические решения преобразования стандарта E1 возможны с использованием ПЛИС среднего уровня производительности на отечественной элементной базе. В специфических случаях, при расстояниях от источников до пунктов сбора и обработки информации в несколько сот километров, при расположении их в труднодоступных районах, возможно использование спутниковой связи с комплексным применением стандартов TDMA и QPSK [95, 97].

5.8 Этапы построения информационных систем сетевой структуры. Сравнительная оценка эффективности иерархической и сетевой структур [77, 78, 80, 171, 172]

Этапы построения информационных систем сетевой структуры

На основе приведенных ранее теоретических материалов и практических рекомендаций проведем обобщенное последовательное построение перспективной информационной системы и её сравнительную оценку с существующей системой. В работе [49] утверждается, что на основании опыта эту последовательность можно разбить на несколько этапов:

- обоснование функции эффективности системы, описывающей ее основную цель, ее функционирование и ее взаимосвязь с внешней средой;
- составление структурной схемы системы, то есть определение составляющих ее подсистем и элементов, распределение функций между ними, определение взаимосвязей между ними и с внешней средой и установление внутренних потоков информации;
- разработка алгоритмов функционирования системы и ее элементов, в том числе алгоритма управления системой;
- обоснование технических требований к элементам системы.

Рассмотрим более подробно первые три этапа построения информационной системы.

Первый этап. Для оценки эффективности радиолокационной системы был введен интегральный показатель информационных потерь, характеризующий объединенные на основе совокупности нескольких обобщенных свойств системы и связанный монотонной зависимостью с качеством надсистемы. Качество отображения было предложено оценивать на основе потерь адекватности отображения и количественно определять их информационными потерями.

К подмножеству потерь α было отнесено подмножество, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую, то есть приводящую к увеличению времени обработки информации, к созданию предпосылок для информационной перегрузки системы, увеличению времени принятия решения. По величине потерь можно судить о качестве отображения, эффективности функционирования собственно РЛ системы, а также о вкладе в эффективность надсистемы [43, 119, 120, 127].

Показатель a , характеризующий относительную мощность подмножества потерь, усовершенствован с целью учета наиболее критичного параметра системы –

времени нахождения (времени задержки) информации при обработке и обмене, путем введения в его расчетную формулу показателя потерь, характеризующего время нахождения РЛИ в системе K^t :

$$\alpha = (1 - K^k)(1 - K^t). \quad (5.18)$$

Эффективность функционирования радиолокационной системы \mathcal{E}_s , или качество отображения определялась как

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha). \quad (5.19)$$

Показано, что совокупность показателей оценки качества отображения X_R , то есть его адекватность воздушной обстановке X в пределах пространственных размеров зоны наблюдения связана монотонной зависимостью с эффективностью надсистемы и по своей природе имеет системный характер. Возможность использования показателя потерь информации в системе состоит в том, что он является физическим показателем, может быть выражен физической величиной, что позволяет непосредственно его измерять или рассчитывать на всех этапах разработки и эксплуатации системы. Он в определенной степени чувствителен к внутренним свойствам радиолокационной системы, обусловленными особенностями ее построения и реализованными алгоритмами обработки, состоянию ее элементов и позволяет проводить сравнительную оценку различных методов обработки. С другой стороны, он одновременно обладает и свойствами функционального (то есть позволяет учесть вклад радиолокационной системы) [46, 47]. Критерий минимума информационных потерь, сформированный на основе этого показателя, используется для разработки рациональных методов сетевой обработки и построения информационной системы сетевой структуры.

Второй этап. При анализе информационных систем было выяснено, что их существующие и перспективные структуры являются комбинацией двух типов структур – иерархической и сетевой. Кроме того, проведено разделение каждого типа на физический и логический уровни. Результат этой процедуры не противоречит семиуровневой модели OSI (или четырехуровневой модели DOD) [83, 115], а также ряду ГОСТов, регламентирующих построение цифровой сети связи.

Важность такого параметра, как время нахождения информации в системе, подтверждается современными требованиями к качеству информации и требованиями надсистемы по сокращению длительности цикла управления. Время нахождения информации в системе в существенной степени зависит от структуры информационной системы. Так, в цикле OODA теории Бойда три из четырех составных частей цикла зависят от обработки и обмена информацией, что совершенно однозначно указывает на резервы и возможности при управлении в кризисных ситуациях.

Обобщение результатов приблизительной оценки различных типов структур свидетельствует о том, что при обработке в иерархических структурах время прохождения информации как минимум в N раз больше времени прохождения в сетевой структуре, где N – число уровней иерархической структуры. Более подробно расчет временных интервалов прохождения и обработки информации в различных структурах будет приведен ниже.

Анализ выводов о применимости структур различных типов будет неполным, если его не дополнить анализом состава информации, циркулирующей в информационной системе.

Условно разделим информацию на три типа: первый – это радиолокационная (вторичная) информация о воздушных объектах от трассовых источников, второй – информация, поступающая в систему от КСА после третичной обработки, третий – это информация управления (кодограммы управления, формализованные и неформализованные донесения, и т. п.), поступающая в систему от собственно органов управления, органов управления средств разведки и органов управления средств поражения.

Определим, что может обеспечить доставку потребителям РЛИ первого типа с наилучшим качеством. В главе 1 показано, что наилучшей структурой, имеющей одноэтапную обработку и обеспечивающей одновременное поступление информации первого типа всем потребителям, является сеть. Существует одна проблема при обмене такой информацией в сети – отбор и сортировка повторяющихся сообщений об объектах от источников с пересекающимися зонами обнаружения, то есть

при вводе в сеть вторичной РЛИ должна быть осуществлена третичная обработка. Полагаем, на основании приведенного в предыдущих разделах материала, что подходящие алгоритмы, обладающие малой величиной задержки при обработке (объединении) информации, разработаны. Важно отметить, что информация первого типа, имеющая для информационной системы особенную ценность, выделяется из общего информационного потока, и для неё предоставляется отдельная сетевая структура. Совокупность алгоритмов сетевой обработки и сетевой структуры обмена информацией позволяют распространять информацию первого типа по сети с наименьшими временными затратами. По сути, проведено разделение параллельного информационного потока в существующей информационной системе (информации управления и собственно информации от источников) и предоставление для наиболее ценного и чувствительного ко времени задержки компонента этого потока отдельной эффективной сетевой структуры распространения и новых, разработанных для применения в сети, алгоритмов сетевой обработки и обмена. Также отметим, что алгоритмы сетевой обработки не встроены ни в какие циклы обработки, обмена, отображения информации, как в КСА ПУ. В них принципиально отсутствует буферизация при поступлении РЛИ от источников, а в самой сетевой структуре обмена применяются только высокоскоростные каналы передачи данных.

Второй тип информации – информация, поступающая адресно в информационную систему после третичной обработки на КСА ПУ. Этот тип информации чрезвычайно важен в иерархической структуре, он идентифицирует иерархическую структуру управления, его изменения после каждого уровня иерархии показывают степень воздействия конкретного уровня системы. Дальнейшая трансформация информационной системы для обмена информацией второго типа может происходить двумя способами.

Первый, самый простой и очевидный, состоит в организации прямых адресных каналов КСА – КСА непосредственно в сети, что является технически и технологически решаемой задачей. Этот способ подходит для совместного функционирования перспективной и существующей информационных систем, объединения

в информационном плане существующих гетерогенных объектов в гомогенную сетевую среду. При этом создаются «однородно-центрические» (в западной терминологии – «дейтацентрические») объекты, состоящие из сравнительно однородных систем и средств вооружения. «Платформоцентрический» подход постепенно, без нарушения сложившейся системы управления, технически и технологически органично переходит в «сетцентрический».

Эффективность такой комбинированной информационной системы в целом будет выше, чем существующей, но ниже, чем при включении в нее гомогенных в отношении сетевой среды объектов, обладающий сквозными, бесшовными технологиями в отношении протоколов обмена и алгоритмов обработки.

Второй способ состоит в разработке комплексов управления и отображения ПУ, непосредственно подключенных в сетевую структуру информационного обмена первого типа, и выдающих информацию о своем воздействии (или принятии решения) встраиванием в сообщения о воздушных объектах соответствующих изменений. Второй способ исключает информацию второго типа из системы в принципе, а также прямые, адресные каналы для её доставки. Сетевая информационная структура «очищается» от ставшей избыточной информации.

Очевидно, что информация третьего типа, «управляющая» и также чрезвычайно важная, может быть подвергнута подобного рода трансформациям, как и информация второго типа. Нельзя отрицать тот факт, что для определенных систем вооружения (и обеспечивающих их информационных систем) наличие прямых каналов обмена информацией необходимо по специальным требованиям надсистемы или в определенные моменты времени функционирования. Поэтому существование комбинированных информационных систем, как и классификация информационных потоков по типам, является процессом очень специфическим и «индивидуальным» для каждой информационной системы.

Таким образом, информация второго и третьего типов, являясь адресной и принадлежащей иерархической структуре, может быть «сведена» в единую сетевую структуру только при условии кардинального изменения подхода к её построению и пересмотра существующего функционала информационной системы.

Третий этап. Алгоритмы функционирования системы, связанные с конкретной технической реализацией, в исследовании не приведены, но показаны алгоритмы элементов системы и алгоритмы управления системой. Прежде всего, это алгоритм объединения вторичной РЛИ от источников в узле сетевой структуры. Основное предназначение этого алгоритма – при поступлении любого сообщения от источника обработать его и передать в сетевую структуру, не прерываясь на циклы обработки, буферизацию, отображение и т. п. Главный приоритет – малое время обработки и ввода в систему. В целом наделение этой управляемой функцией элемента сети – сервера – означает, что сетевые структуры наделяются возможностями обработки информации (элементами «управляемого интеллекта») [170].

Далее, для функционирования сети разработан алгоритм более высокого уровня, придающий информационной системе свойства самовосстановления и самоорганизации за счет использования свойств сетевых структур. Самоорганизация – удаление устаревшей информации, «петлей» информации, предотвращение широковещательного шторма, выбор оптимальных маршрутов передачи. Самовосстановление – автоматический выбор альтернативных маршрутов при потере связи в каком-либо направлении.

Алгоритм функционирования сети представляет собой сочетание известных алгоритмов фильтрации и маршрутизации с алгоритмами оценки содержания передаваемых сообщений. Вполне вероятно, что подобные алгоритмы могут создаваться в соответствии с конкретными требованиями надсистемы и разработчиков самой информационной системы.

Алгоритмы управления системой показаны в части задания на серверах вероятности объединения информации от источников, фильтрации зон отбора, типов воздушных объектов, темпа выдачи РЛИ и т.п. для определенных потребителей. Алгоритм управления системой ещё более высокого уровня показан описательно – это алгоритм управления режимами работы системы в целом. Он управляет адресацией потоков информации (иерархия или сеть), реализует различные режимы работы сети – иерархический, сетевой, смешанный, по фрагментам информационной системы и др., включение/выключение режимов агрегирования/деагрегирования в

зависимости от информационной перегрузки по фрагментам сети или сети в целом.

Увеличение эффективности перспективной информационной системы сетевой структуры наиболее ярко проявляется при привлечении достаточно большого количества разнородных систем, входящих в эту структуру.

Построение информационной системы сетевой структуры в основном нацелено на минимизацию времени нахождения информации в системе, и, как следствие, – на повышение эффективности радиолокационной системы в целом. Очевидно, что уменьшение времени нахождения информации в системе не влечет за собой прямо пропорционального увеличения эффективности. Для выявления этой зависимости потребуются дополнительные исследования. Тем не менее, сравнительные характеристики существующей и перспективной систем на основе временных интервалов обработки и нахождения информации в системе привести можно. Вероятностный характер процессов обработки информации в ходе сравнения будет косвенно учитываться по изменению различных временных задержек при обработке и передаче информации.

Сравнение информационных систем на основе временных интервалов обработки и распространения информации

Обозначим время задержки при обработке на одном уровне иерархической структуры $t_{з\ уер}$. Соответственно, для структуры, маршрут прохождения информации в которой состоит из N узлов, это время составит $N \times t_{з\ уер}$, если допустить, что время задержки на всех уровнях одинаково. Время задержки в канале передачи данных обозначим $t_{з\ нд\ уер}$. При этом выделим время задержки на первом уровне источник – КСА ПУ $t_{з\ нд\ плс-КСА}$ отдельно, потому что, как правило, в этом звене каналы имеют низкую скорость, задержка в таких каналах значительно влияет на качество информации, и её количественное значение может достигать большой величины. В общем случае, для n уровней, $t_{з\ уер\ n}$ будет неодинаково на различных уровнях иерархической структуры, так как обработка РЛИ на КСА встроена в различные циклы, зависит от объема управленческих решений, придаваемых конкретному иерархическому уровню, от объема решаемых задач реального времени, от наличия

или приближения к состоянию информационной перегрузки, от буферизации входных/выходных данных и других параметров. Тогда время нахождения информации $T_{иер}$ в иерархической структуре определяется как:

$$T_{иер} = \sum_{n=1}^N t_{зиеpn} + t_{зндрлс-КСА} + \sum_{n=2}^N t_{зндиеpn} \quad (5.20)$$

Для информационной системы сетевой структуры обработка одноступенчатая (одноуровневая). При вводе РЛИ в систему, время задержки составит $t_{з\ сет}$. Время задержки в каналах передачи данных составит: при низкоскоростных каналах в звене источник – сеть $t_{з\ нд\ рлс-сеть} = t_{з\ нд\ рлс-КСА}$; при высокоскоростных каналах в этом звене величина задержки будет примерно равна величине задержки $t_{з\ нд\ сеть}$ при прохождении по сети в целом (после обработки, до выдачи потребителю) $t_{з\ нд\ рлс-сеть} = t_{з\ нд\ сеть}$. Величины времени задержки при преобразовании протоколов логического и физического уровней, при выводе информации из сети пренебрежимо малы по сравнению с временем прохождения по сети. Тогда время нахождения информации в сетевой структуре $T_{сеть}$ получает следующее выражение:

$$T_{сеть} = t_{з\ сеть} + t_{з\ нд\ рлс-сеть} + t_{з\ нд\ сеть}. \quad (5.21)$$

Выразим соотношение времени нахождения в иерархической и сетевой структурах коэффициентом $K_{срГ}$ сравнения по времени

$$K_{срГ} = \frac{T_{иер}}{T_{сеть}} = \frac{\sum_{n=1}^N t_{зиеpn} + t_{зндрлс-КСА} + \sum_{n=2}^N t_{зндиеpn}}{t_{зсеть} + t_{зндрлс-сеть} + t_{зндсеть}}. \quad (5.22)$$

Несмотря на достаточную простоту выражения, количественные показатели можно найти лишь при принятии существенных допущений. Динамическая модель иерархической структуры представляется достаточно сложной. Она зависит от большого количества исходных данных и корректности построения самой модели. Поэтому прибегнем к определенным допущениям.

Для случая малой загрузки информационных систем и достаточной пропускной способности низкоскоростных каналов полагаем, что $t_{зндрлс-КСА} = t_{зндиеpn}$, $t_{зндрлс-сеть} = t_{зндсеть}$. Тогда выражение для коэффициента сравнения примет вид:

$$K_{срГ} = \frac{T_{иер}}{T_{сеть}} = \frac{N(t_{зндиеpn} + t_{зиеpn})}{t_{зсеть} + 2t_{зндсеть}} \quad (5.23)$$

Предположим, что мы исследуем совершенно специфический случай, когда

$t_{зндиеpn} = t_{зиеpn}$, и $t_{зсеть} = t_{зндсеть}$. Это предположение в основном в «пользу» иерархической структуры, так как величины времени задержки при передаче и обработке в ней могут достигать значений от нескольких секунд до десятков секунд. Тогда выражение для коэффициента сравнения приобретает вид:

$$K_{срТ} = \frac{T_{иер}}{T_{сеть}} \cong \frac{2Nt_{зиеpn}}{3t_{зсеть}} . \quad (5.24)$$

Анализ упрощенных выражений (5.20, 5.22) для коэффициента сравнения приводит к следующим выводам:

1. Время задержки на обработку информации в сети есть величина более постоянная, чем время задержки на обработку в иерархической структуре.
2. Коэффициент сравнения $K_{срТ}$ не может быть менее 1, то есть сетевая структура по крайней мере не хуже в отношении времени нахождения информации в сети, чем иерархическая (если полагать, что в иерархической структуре не менее 2-х узлов).
3. С ростом количества узлов N иерархической структуры (или уровней иерархии) коэффициент сравнения по времени увеличивается минимум в $2N$ раз в пользу сетевой структуры.

Вместе с тем, данный подход по сравнению интервалов задержки времени на обработку и прохождение информации в информационных системах разной структуры имеет ряд недостатков:

1. Расчет по исходным данным задержек при обработке в иерархической системе сложен и зависит от большого числа параметров.
2. Общее время задержки при обработке в значительной степени зависит от формируемой воздушной обстановки. От воздушной обстановки зависит также время задержки по низкоскоростным каналам передачи данных от источников.
3. Указанный подход совершенно не учитывает накопления погрешностей при пересчетах систем координат в узлах информационной структуры, в иерархической информационной системе количество пересчетов от источника до потребителя может быть значительным (10-15).
4. Одна и та же величина задержки информации в разной степени влияет на

её допустимое качество для различных потребителей, то есть данный подход не учитывает ценности информации, что, впрочем, является общим недостатком теории информации.

Сравнение информационных систем на основе энтропийного подхода [80]

Вопросы изменения энтропии вследствие вмешательства в закрытые системы, несомненно, представляют определенный интерес, так как непосредственно через теорию Шеннона и формулу Хартли-Тайлера-Шеннона связаны с информацией, находящейся в системе или приносимой в систему извне.

По изменению энтропии системы можно определенным образом следить за изменением количества информации в ней, и как минимум, определять наличие или отсутствие воздушных объектов в радиолокационных измерительных системах. К сожалению, в подходах Шеннона Кл. Эл., Бриллюэна Л. [116], Стратоновича Р.Л. [133], Когана И.М. [121, 122] нет критерия ценности информации, исследования и разработки в этом направлении представляются очень перспективными в плане применения в информационных системах.

Из анализа обобщенного показателя времени нахождения (времени задержки) РЛИ в системе K^z можно сделать вывод, что время задержки информации в системе является одной из основных причин уменьшения достоверности информации, и, как следствие, накопления энтропии в системе.

Воспользуемся некоторыми положениями теории информации К. Шеннона в части измерения количества информации, её свойств и предельных соотношений для систем передачи данных. Здесь и далее под информацией будем понимать полную информацию, поступающую в приемный тракт РЛС и далее в информационную систему из области пространства, ограниченной зоной обзора и диапазоном рабочих частот РЛС. Без выделения свойства полезности или ценности такая информация называется информационной энтропией [121]. Нас интересует изменение информационной энтропии в процессе её прохождения от источника до потребителя в информационной системе. Соотношение полезной и полной информации и его эволюции при этом рассматриваться не будут.

Оценка максимального количества информации о воздушных объектах играет важную роль при расчете пропускной способности системы связи и обмена данными, а также для применения возможных способов обработки РЛИ. Система связи и обмена данными, в свою очередь, является составной частью информационной системы ПВО.

Рассчитаем информационную энтропию единичного источника с использованием положений теории информации [133] применительно к системе РЛС – воздушный объект подобно каналу радиосвязи. Будем рассматривать только сигнал, отраженный от воздушного объекта. Приемник РЛС в этом случае является приемной частью канала радиосвязи. Будем считать, что вся полученная РЛС информация о воздушном объекте передается в информационную систему.

Методика предназначена для расчета значения информационной энтропии, как теоретически максимально возможного количества информации, передаваемого от воздушного объекта на РЛС. При этом необходимо иметь в виду, что теоретически максимально возможное количество информации не равно количеству полезной информации [133].

Отметим, что подобные расчеты с применением основных положений теории информации проводились в радиолокации и ранее. В работе [122] пропускная способность канала радиосвязи считается ничем не ограниченной и принимается равной теоретически максимальной информационной энтропии:

$$C = H_{max} , \quad (5.25)$$

где C – пропускная способность канала радиосвязи; H_{max} – максимальная информационная энтропия.

Вместе с тем, энтропия определялась в [121, 122] по формуле Хартли как энтропия дискретной величины, а точнее как неопределенность плотности вероятности местонахождения объекта в пространстве

$$H_i = -\log_2 P_i, \quad (5.26)$$

где P_i – равновероятное попадание объекта в объем V_i , причем

$$P_i = \frac{V_i}{V_0} = \frac{1}{n}. \quad (5.27)$$

Здесь, V_0 – заданный объем пространства, а n – число способов попадания объема V_i в объем V_0 . В этом случае неопределенность нахождения объекта в одном из объемов соответственно должна рассчитываться как математическое ожидание логарифма вероятности P_i [122]:

$$H = \sum_{i=1}^n P_i H_i = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i. \quad (5.28)$$

Воспользуемся оригинальным выводом Л. Бриллюэна [121, с. 210-212], уточняющим понятие информационной энтропии К. Шеннона как негэнтропии. В этом выводе утверждается, что К. Шеннон определял энтропию со знаком, обратным обычному термодинамическому определению, так как доказывал, что при некоторых необратимых процессах его энтропия информации убывает.

Обозначим общее количество информационной энтропии, поступающее в информационную систему, через $E_{сист}$. Общее количество информационной энтропии является в силу свойства аддитивности суммой информационных энтропий от источников, в нашем случае – от РЛС различного типа:

$$E_{сист} = \sum_{n=1}^N E_{истn}, \quad (5.29)$$

где $E_{истn}$ – количество информационной энтропии, поступающее в приемный тракт n -й РЛС, N – число РЛС. Отметим, что здесь и далее мы рассматриваем теоретически максимально возможные количества информационной энтропии, не выделяя такие качества, как ценность и полезность информации. Теория Шеннона этого не предусматривает.

При рассмотрении РЛС как источника информационной энтропии предположим, что количество информационной энтропии в единицу времени $E_{истn}^t$ равно максимальной пропускной способности приемного тракта РЛС и определяется формулой Хартли-Таллера-Шеннона [116]:

$$E_{истn}^t = C = k_B \nu_m \ln \left(1 + \frac{P}{P_n} \right), \quad (5.30)$$

где C – предельная пропускная способность канала связи (приемного тракта РЛС); $k_B = 1,38 \times 10^{-16}$ эрг/град – постоянная Больцмана; P – мощность сигнала на входе

приемника; P_n – мощность шума на входе приемника; ν_m – верхняя граничная частота полосы пропускания приемного устройства РЛС.

Входами информационной системы будем считать входы КСА ПУ для иерархической структуры, либо входы терминалов – для узлов сетевой структуры. На эти входы полная информация $E_{сист\ обр}$ (имеется в виду информационная энтропия), которая обрабатывается в информационной системе, поступает со следующими основными особенностями:

1) в РЛС информация, поступившая через приемный тракт, подвергается алгоритмической обработке (называемой первичной и вторичной), что значительно уменьшает её первоначальное количество (но не соотношение полезной и полной информации);

2) после алгоритмической обработки от источника информация поступает на вход информационной системы через канал передачи данных.

Канал передачи данных может вносить дополнительную энтропию в случае искажения информации или её задержки, и «отсеивание» этой дополнительной энтропии потребует дополнительной алгоритмической обработки при дальнейшем использовании в информационной системе. Причем в иерархической структуре дополнительная информационная энтропия будет добавляться каждый раз, когда информация проходит через m -й канал передачи данных и узел структуры, а количество каналов в общем случае больше, чем узлов этой структуры, так как соседние «ветви» могут участвовать в передаче информации для обработки в узлы:

$$E_{систобр} = \sum_{n=1}^N E_{истn} K_{первообрn} + \sum_{m=1}^M E_{канtm}, \quad (5.31)$$

где $K_{первообрn}$ – коэффициент уменьшения информационной энтропии в результате алгоритмической обработки в первом звене источник – информационная система, N – число РЛС, M – число каналов передачи данных от РЛС к узлам информационной системы, $E_{канtm}$ – дополнительная информационная энтропия m -го канала передачи данных вследствие задержки при передаче.

Количество информационной энтропии в единицу времени в канале передачи

данных $E_{кант}^t$ может быть рассчитано по формуле Шеннона как максимально достижимая пропускная способность канала связи [122, с. 39]:

$$E_{кант}^t = C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{P_n} \right), \quad (5.32)$$

где W – полоса частот, разность между максимальной W_{\max} и минимальной W_{\min} частотой сигнала; P – мощность сигнала на входе приемника; P_n – мощность шумов (помехи) на входе приемника.

При задержке информации в каналах передачи данных в звене источник – вход информационной системы происходит увеличение информационной энтропии на величину

$$E_{зист} = \sum_{m=1}^M E_{кант}^t T_{зт}, \quad (5.33)$$

где M – число каналов передачи данных от источников, $T_{зт}$ – время задержки информации в m -м канале передачи данных в звене источник – вход информационной системы.

В информационной системе, после поступления информации от источников, происходит её обработка, называемая третичной. С точки зрения теории информации исключается информационная энтропия от источников, имеющих пересекающиеся зоны обнаружения. Коэффициент третичной обработки $K_{трет}$ зависит от размещения источников на местности, их технических характеристик, и от собственно алгоритма обработки. Предположим, что $K_{трет}$ одинаков для любого типа информационных структур и с учетом (5.31, 5.33) получим:

$$E_{систобр} = \left(\sum_{n=1}^N E_{истн} K_{первобрн} + \sum_{m=1}^M E_{кант}^t T_{зт} \right) K_{трет}, \quad (5.34)$$

Информационная энтропия, находящаяся в информационной системе после третичной обработки, представляет собой определенный интерес с точки зрения её изменения в процессе прохождения по системе. Поэтому информационная энтропия $E_{систобр}$ после первого звена третичной обработки будет неполной, если не учесть её изменение при дальнейшем прохождении информации по системе $E_{зобщ}$.

При наличии задержек, неважно, по какой причине (объединение, принятие

решения, задержка в канале и пр.) и независимо от структуры информационной системы, происходит увеличение и накопление энтропии, выражающееся как

$$E_{зсист} = E_{зист} + E_{зобщ} = \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} + \sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}, \quad (5.35)$$

где P – число звеньев информационной структуры после первого, участвующих в обработке, E_p^t – информационная энтропия в единицу времени в p -м канале передачи данных, $T_{з\ p}$ – время задержки информации в канале передачи данных и при обработке в p -м узле информационной системы. Общее количество информационной энтропии в системе с учетом (5.31) и (5.34) составит:

$$E_{систобр} = \left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{первобр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет} + \sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}. \quad (5.36)$$

Проведем сравнение двух информационных систем различных структур – иерархической и сетевой – с точки зрения наличия и динамического образования информационной энтропии в каждой системе.

Общее выражение для $E_{систобр}$ характеризует иерархическую структуру, тогда как для сетевой структуры слагаемое $\sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}$ отсутствует – в сетевой структуре подразумевается один уровень обработки, то есть

$$E_{систобр\ сет} = \left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{первобр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}, \quad (5.37)$$

Коэффициент сравнения $K_{ср\ T}$ информационных систем различных структур в зависимости от времени задержки информации при прохождении по информационной системе выглядит следующим образом:

$$K_{ср\ T} = \frac{(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{первобр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m}) K_{трет}}{(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{первобр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m}) K_{трет} + \sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}}. \quad (5.38)$$

В этом выражении намеренно выделено слагаемое для первого звена источник – вход системы, так как обработка информации в источниках и доставка её на вход любой информационной системы одинакова для информационной системы любой структуры. После преобразования получаем:

$$K_{ср\ T} = 1 + \frac{(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{первобр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m}) K_{трет}}{\sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}}, \quad (5.39)$$

то есть с точки зрения информационной энтропии коэффициент сравнения иерархической и сетевой структур не может быть меньше 1.

Каковы величины информационной энтропии как максимально теоретически возможного количества информации в информационной системе и насколько время задержки влияет на накопление энтропии в системе, покажем на некоторых примерах.

При расчетах с использованием выражения (5.30) будем учитывать, что размерность пропускной способности приемного тракта РЛС как канала радиосвязи C определяется в эрг/град \times с. Для перевода C в размерность нат/с необходимо полученную величину разделить на 10^{-16} – коэффициент пересчета Больцмановской информации в шенноновскую [116, с. 242], и умножить на 1,44 – коэффициент соотношения нат/бит [116]. В результате получается размерность – Мбит/с. Её можно анализировать и сравнивать с существующими характеристиками как РЛС (диапазон рабочих частот, соотношение сигнал/шум, уровень собственных шумов приемника), так и систем связи и передачи данных в целом (пропускная способность каналов связи, способность узлов связи информационной системы обрабатывать передаваемый объем информации).

В таблице 5.7 приведены результаты расчета теоретически максимально возможного количества информационной энтропии в единицу времени о воздушных объектах для разных соотношений сигнал/шум с использованием выражения (5.30).

Таблица 5.7 – Количество информации о воздушных объектах

Тип РЛС Сигнал/шум	РЛС метрового диапазона	РЛС дециметрового диапазона	РЛС сантиметрового диапазона
1:20	14,5 – 19,36 Мбит/с	43,8 - 48,7 Мбит/с	87 - 97 Мбит/с
1:10	29,4 – 37,75 Мбит/с	85-94,5 Мбит/с	170 – 189 Мбит/с
1:1	150-206 Мбит/с	620-690 Мбит/с	1240-1380 Мбит/с
3:1	300-413 Мбит/с	1237-1375 Мбит/с	2475-2750 Мбит/с
10:1	518-715 Мбит/с	2147-2385 Мбит/с	4293-4770 Мбит/с

Полагаем, что соотношение сигнал/шум 1:20 представляет собой пороговое значение сигнал/шум в приемниках современных РЛС, а соотношение сигнал/шум 1:10 является основным рабочим значением, при котором происходит устойчивое накопление информации для дальнейшей обработки. Для анализа количественной оценки максимального количества информации представляет интерес значение информационной энтропии при пороговом уровне сигнал/шум, так как в современных приемных устройствах пороговый уровень определяется в основном уровнем собственных шумов. Между тем, в [116] отмечается, что при выводе выражения для максимальной пропускной способности канала связи в физическом смысле Шеннон рассматривал кабель без омического сопротивления, но с источником шума, находящимся вне кабеля и действующим независимо, то есть не учитывал уровень собственных шумов. Учитывая, что в последние годы появляются уточнения к положениям теории Шеннона [175] в области применения выражений для пропускной способности и энтропии, не исключено, что в более высоких диапазонах частот (L и выше) значения информационной энтропии в единицу времени с учетом соотношения сигнал/шум могут принимать другие значения.

Следовательно, можно предположить, что информационная энтропия ниже порогового уровня не несет полезной информации, применимой для дальнейшей обработки с использованием существующих алгоритмов. В этом случае, например, для РЛС метрового диапазона при оптимальном соотношении сигнал/шум 1:10 из теоретической пропускной способности 29-38 Мбит/с (строка 2 таблицы 1) вычесть теоретическую пропускную способность 14-19 Мбит/с (строка 1 таблицы 1) при соотношении сигнал/шум 1:20, то оставшаяся величина 15-21 Мбит/с – является информационной энтропией, подлежащей дальнейшему анализу, с соотношением сигнал/шум 1:10 и поступающей на вход приемного устройства по радиоканалу.

Вместе с тем, известно [162], что реальный объем передаваемой первичной информации для РЛС метрового диапазона равен 25-28 Мбит/с и близок к рассчитанному теоретически. То есть теоретический предел в этом диапазоне практически достигнут.

Для расчета информационной энтропии в каналах передачи данных информационной системы воспользуемся выражением (5.32), при значении сигнал/шум 20 дБ в стандартном канале получим $C \cong 60$ кбит/с. Возможно, это не очень большая величина, но информационная энтропия суммируется и накапливается на 60 кбит каждую секунду задержки в каждом канале передачи данных. То есть за 10 с задержки накопление информационной энтропии только по одному каналу одного звена составит 600 кбит. Входов у КСА иерархической структуры может быть несколько. Эту информационную энтропию необходимо обработать и хотя бы частично уменьшить алгоритмической обработкой, на которую уходит время. Эта процедура повторяется в каждом узле иерархической структуры.

Можно сделать вывод, что информационная система иерархической структуры «генерирует» информационную энтропию внутри себя и тратит ресурсы на её же устранение. Как было отмечено выше, этот сравнительный подход не учитывает ценность (полезность) информации, накопление погрешностей при пересчетах в узлах иерархической структуры, из него сознательно исключен ряд несущественных для расчетов величин и приняты значения пропускной способности одного канала передачи данных в режиме «Аккорд-СС-ПД» для 200 объектов за обзор при их равномерном распределении в зоне обзора РЛС. При неравномерном распределении объектов в зоне обзора РЛС задержка в канале подчиняется распределению Пуассона для систем с очередями и, при сосредоточении уже всего 60 объектов в квадранте 90^0 задержка при передаче по такому каналу составляет 7,5 с, поэтому часть информации становится просто неактуальной для дальнейшей обработки.

Таким образом, на основе энтропийного подхода можно оценивать свойства информационных систем различного типа и в дальнейшем разрабатывать более подробные модели информационных систем различных структур (в том числе комбинированных) для расчета оценки их эффективности. Кроме того, оценка максимально возможного количества информации о воздушных объектах показала, что реализация варианта информационного обмена с максимальной пропускной спо-

способностью каналов связи информационной системы сетевой структуры представляется технически выполнимой. При этом, появляется дополнительная возможность применения перспективных алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов.

Выводы по разделу 5

1. В информационной системе сетевой структуры могут быть применены новые методы обработки информации, такие, как метод агрегирования. Этот метод реализуется встраиванием в специальное программное обеспечение серверов сети.

2. Для обеспечения обмена информацией в информационной системе разработаны алгоритмы системного сетевого уровня, позволяющие оптимизировать объем информации, циркулирующей в сети, а также автоматически восстанавливать обмен по обходным маршрутам в случаях нарушений связи.

3. Оценена пропускная способность каналов передачи данных в информационной системе ПВО на основе информационно-энтропийного подхода. Полученные результаты показывают, что для РЛС метрового диапазона пропускная способность составляет 29-38 Мбит/с, что практически очень близко к реальным значениям – 25-28 Мбит/с. Полученные результаты показывают, что в настоящее время пропускная способность каналов передачи данных в информационной системе сетевой структуры находится в пределах технически достижимой. На основе энтропийного подхода можно оценивать свойства информационных систем различного типа структур и разрабатывать более подробные модели информационных систем для расчета оценки их эффективности.

5. На основе эксперимента получены количественные оценки времени задержки информации при передаче РЛИ по низкоскоростным каналам связи с использованием алгоритма «Аккорд-СС-ПД». Задержка выдачи РЛИ в канал связи может проявляться при условии расположения 60-70 ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС. Она может находиться в пределах от нескольких десятков мс до 7,5 с и соответствует распределению Пуассона. Практическое построение информационной системы сетевой структуры должно обеспечить нормальное распределение

на её входе и выходе, не допустить перехода нормального распределения в пуассоновское и тем самым нарушить функционирование системы, основанной на критерии минимизации времени нахождения информации в ней. Оценка времени задержки кодограмм позволяет сделать вывод о необходимости передачи РЛИ в звене РЛС-КСА в более широкополосном канале связи, а также о необходимости включения времени локации в состав кодограмм протокола Asterix после обработки РЛИ на сервере.

6. Разработаны рекомендации по построению терминала обработки РЛИ и его применению в качестве базовой ячейки информационной системы сетевой структуры. Они предполагают, что, во-первых, построение информационной структуры сетевой структуры должно осуществляться на основе терминалов обработки РЛИ, размещаемых в функционально однородных (дейтацентрических) группах потребителей и источников; во-вторых, функции сопряжения существующих КСА, источников и потребителей и функции подключения их в сетевую структуру могут быть обеспечены шлюзами телекодовой и речевой информации из состава терминалов; в третьих, терминалы обработки РЛИ могут размещаться на РЛС или КСА, при этом для одной функционально однородной группы достаточно одного терминала.

7. В настоящее время имеется возможность минимизировать технологические решения при построении структуры специализированной системы обработки и обмена информации. Основными технологиями при построении структуры являются освоенные отечественной промышленностью и разработчиками сочетание технологий, стандартов и протоколов, принадлежащим различным уровням моделей OSI и TCP/IP: DSL, IEEE 802.3, PDH (E1) и SDH (STM). Организационно и технически на этапе построения специализированной системы возможно обеспечить её «закрытость» и изолированность от сетей общего пользования, массово применить относительно недорогое отечественное оборудование, что является решением вопроса импортозамещения в современных условиях.

ГЛАВА 6 РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ

В разделе 6 разработана имитационная модель сервера информационной системы сетевой структуры. С помощью математической модели исследуется эффективность и границы применимости разработанных алгоритмов сетевой обработки РЛИ на сервере. Алгоритм сетевой обработки дополнен дополнительным этапом экстраполяции для объединения неполных данных от разнородных источников. Показаны результаты анализа экспериментальных данных на примере обнаружения малогабаритных БПЛА и воздушных объектов типа «птицы» по новым разработанным алгоритмам [7, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 99, 100, 101, 102, 167, 169, 204, 205, 206]. Раздел завершает этап 5 метода сквозного синтеза – проверка функционирования системы.

6.1 Имитационная модель обработки РЛИ на сервере сетевой структуры

Имитационная модель процесса обработки РЛИ на сервере сетевой структуры создавалась для получения количественных оценок времени задержки РЛИ, а также оценки правильности решения задачи объединения РЛИ от различных источников.

Размещение отдельных программных модулей модели на различных ПЭВМ предполагало уменьшение их взаимного влияния на время задержки при обработке РЛИ на сервере. Выбор отдельных ПЭВМ для каждого компонента модели обусловлен также использованием в ходе моделирования локальной вычислительной сети, которая может вносить временные задержки при обработке на сервере.

Имитационная модель сервера АСООИ сетевой структуры реализована на основе запатентованных решений [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 99, 100, 101] и имела следующие особенности:

- программное обеспечение сетевой обработки разработано в соответствии с предложенными в главе 3 методом и алгоритмом обработки РЛИ;
- имитируемая РЛИ, поступающая от источников, максимально соответствовала реальной: ошибки измерения координат и составляющих скоростей объектов

изменялись в соответствии с нормальным законом распределения, параметры которого были согласованы с СКО измерения координат и составляющих скоростей, заданными для каждой РЛС;

- имитаторы РЛС работали асинхронно;
- РЛИ выдавалась на сервер в соответствии с зонами обнаружения РЛС;
- значения скоростей, высот объектов, размеров зон обнаружения РЛС не превышали указанных в характеристиках на существующие РЛС;

- на средствах отображения обеспечивалось отображение РЛИ, принимаемой от источников и получаемой в результате обработки РЛИ на сервере, а также зон обнаружения каждой РЛС;

- обеспечивалась регистрация и обработка РЛИ, принимаемой от источников, обрабатываемой на сервере и передаваемой потребителям. Кроме того, обеспечивалась возможность регистрации и расчета при обработке РЛИ на сервере максимального времени задержки, среднего за 10 с времени задержки и среднего за эксперимент времени задержки, а также числа объектов, принимаемых от источников, обработанных на сервере и выданных потребителям.

Структурная схема имитационной модели представлена на рисунке 6.1.

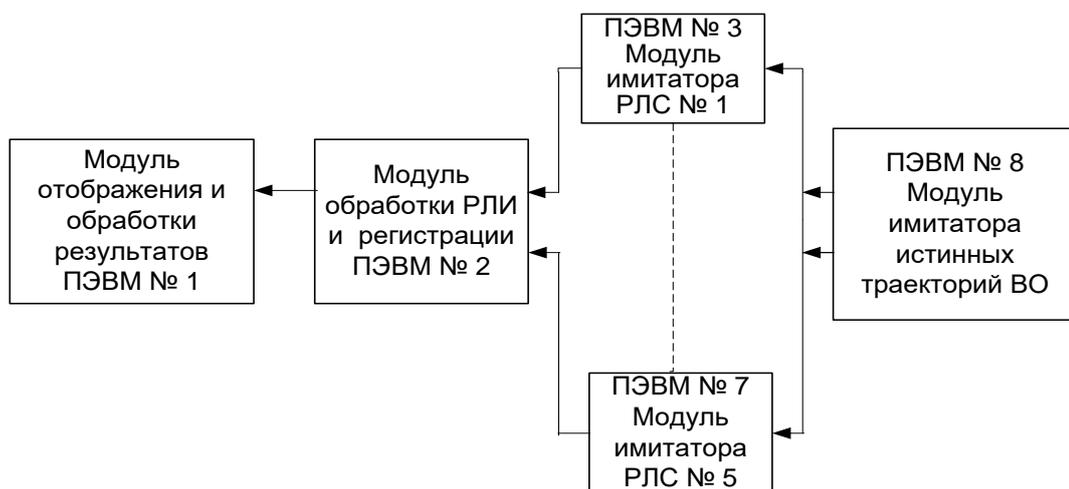


Рисунок 6.1 – Структурная схема имитационной модели

Для реализации указанных требований и особенностей функционирования в состав сервера включены модули:

- модуль имитатора траекторий;

- модуль имитатора РЛС;
- модуль отображения воздушной обстановки;
- модуль обработки и регистрации входной и выходной РЛИ;
- модуль расчета результатов моделирования.

Обмен данными между ПЭВМ, входящими в состав имитационной модели, осуществлялся по протоколу UDP. Выбор протокола обусловлен требованием максимального уменьшения временных задержек при обмене данными между компьютерами сети.

6.2 Результаты имитационного моделирования обработки РЛИ на сервере сетевой структуры [78]

Имитационное моделирование проводилось для проверки целесообразности реализации метода обработки РЛИ на сервере АСООИ, входящей в состав сетевой структуры. В процессе моделирования особое внимание было уделено корректному созданию типовых ситуаций движения объектов и ситуаций определения максимальных возможностей метода обработки, а также расчету максимального и среднего времени задержки при обработке РЛИ. В ходе моделирования отрабатывались и в последующем материале представлены ситуации прямолинейного движения и маневрирования только воздушных объектов (ВО).

6.2.1 Прямолинейное движение

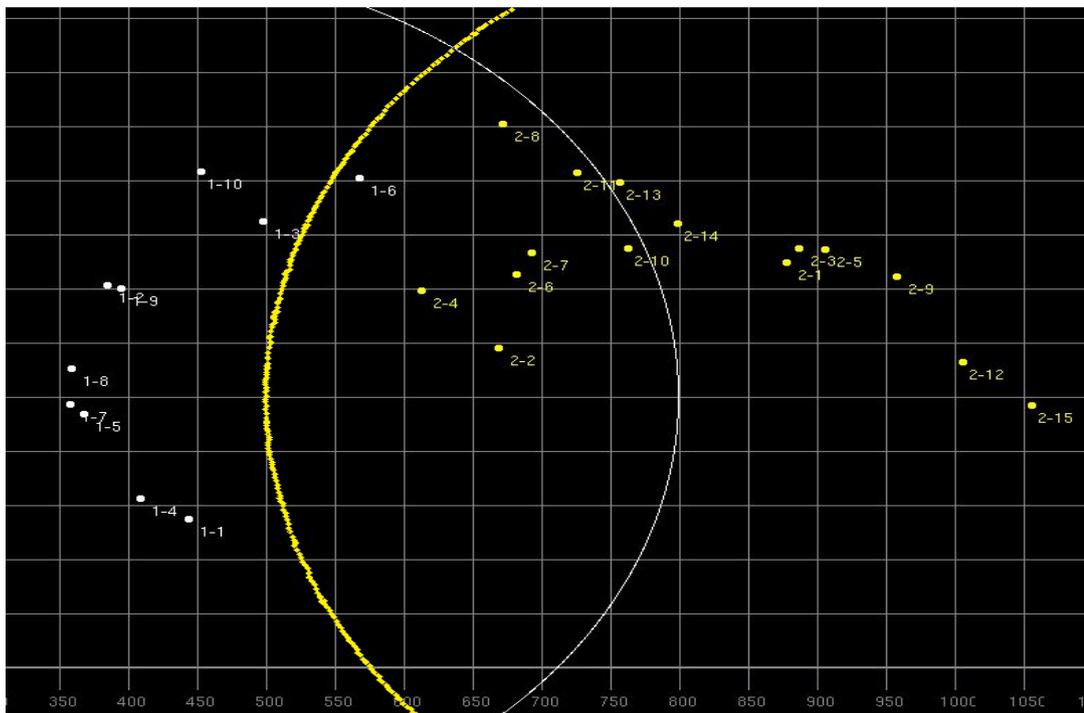
При моделировании прямолинейного движения объектов в процессе сетевой обработки РЛИ на сервере с использованием имитационной модели оценивались:

- среднее за 10 с и максимальное время задержки при обработке РЛИ;
- корректность подсчета числа обнаруженных каждой РЛС объектов, принимаемых и обработанных сервером сообщений о них;
- обработка РЛИ на сервере при вхождении объектов в зону совместного обнаружения двух РЛС;
- выбор источника РЛИ сервером при включении и отключении одной из РЛС в зоне совместного обнаружения;

- обработка РЛИ при максимальной производительности РЛС по числу объектов, сопровождаемых одной из двух РЛС;
- создание воздушной обстановки из 400 объектов в зоне обнаружения двух и более РЛС;
- проверка выбора алгоритмом сервера источника РЛИ по критерию наименьшего СКО измеряемых координат;
- обработка на сервере РЛИ от пяти РЛС при нахождении в их зонах обнаружения 1000 объектов.

Результаты моделирования представлены на рисунках 6.2...6.8.

На рисунках 6.2а...6.2в изображена ситуация воздушной обстановки, моделируемой для определения числа ВО, выдаваемого двумя РЛС в непересекающихся и пересекающейся части зоны обнаружения, и числа ВО, обрабатываемого на сервере. В ходе эксперимента подсчитывается среднее и фиксируется максимальное время задержки при обработке кодограмм о ВО.



а)

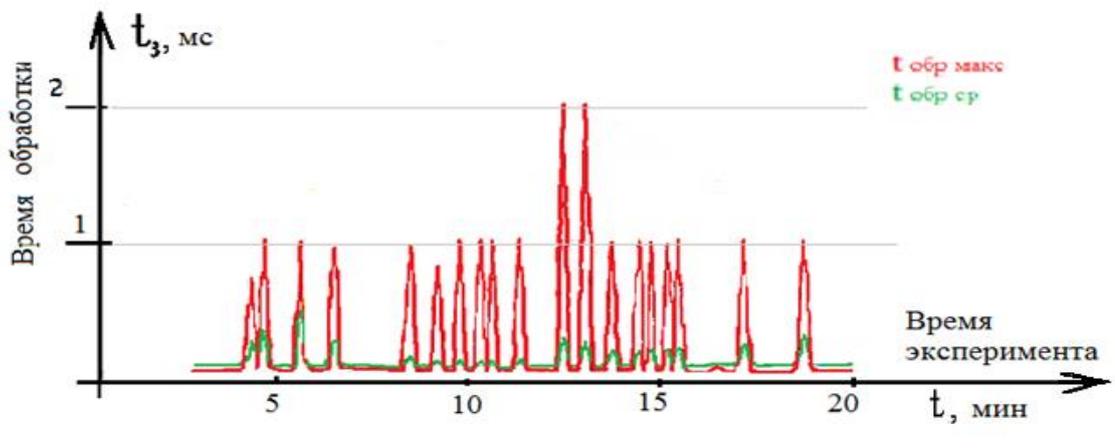
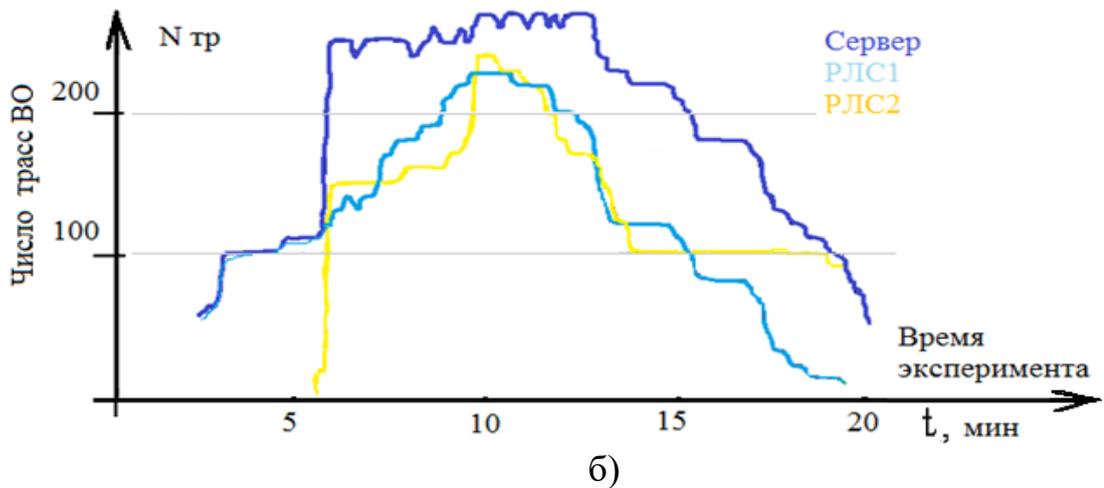


Рисунок 6.2а...6.2в – Проверка правильности объединения при входе ВО в зону совместного обнаружения двух РЛС

Воздушные объекты движутся слева направо, общее число их достигает 200. В моделируемой ситуации проверялись: правильность объединения сервером кодограмм о ВО, поступающих от двух источников, правильность выбора сервером источника с наименьшим СКО, правильность решения сервером задачи объединения ВО.

На рисунке 6.2а воздушные объекты, прошедшие обработку на сервере, показаны белым и желтым цветом. Белый цвет означает, что сервер отобрал кодограмму о ВО по данным РЛС № 1, желтый – отбор по данным РЛС № 2. После вхождения ВО в зону совместного обнаружения двух РЛС сервер проводит объединение и выбор источника по наименьшему СКО. В данной ситуации источник № 2, обозначенный желтым цветом, имеет СКО меньше, чем источник № 1, по-

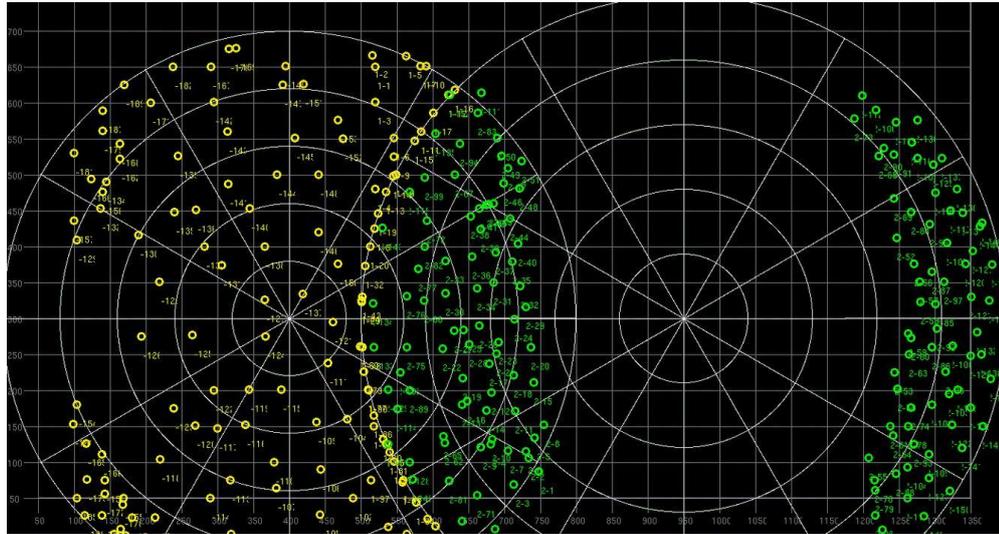
этому сервер выбирает сообщения о ВО от источника № 2 в зоне совместного обнаружения двух РЛС. При этом отметки ВО приобретают желтый цвет. На рисунке 6.2б представлено семейство зависимостей числа ВО, выдаваемых на сервер (обозначены голубым – от РЛС 1 и желтым – от РЛС 2 цветом) и обрабатываемых на сервере (обозначена синим цветом), от времени эксперимента.

Анализ рисунков 6.2а...6.2в показывает следующее. В динамике эксперимента (рисунок 6.2б), во-первых, в начале (когда ВО находятся в зоне РЛС № 1), число ВО, выдаваемых после обработки на сервере, совпадает с числом ВО, выдаваемым РЛС № 1. Это обусловлено тем, что на сервере данных от другого источника в этот период времени нет. Во-вторых, суммарное число ВО, выдаваемых источниками, не превышает числа ВО, обрабатываемых на сервере. Это подтверждает правильность решения задачи объединения РЛИ сервером в зоне совместного обнаружения двух источников. В третьих, среднее время задержки РЛИ при обработке на сервере не превышает 88 мкс, а максимальное время обработки РЛИ на сервере незначительно превышает 2 мс (рисунок 6.2в). «Всплеск» максимального времени обработки, как и в других экспериментах, может быть обусловлен причиной применения операционной системы Windows, в которой слабо контролируются прерывания.

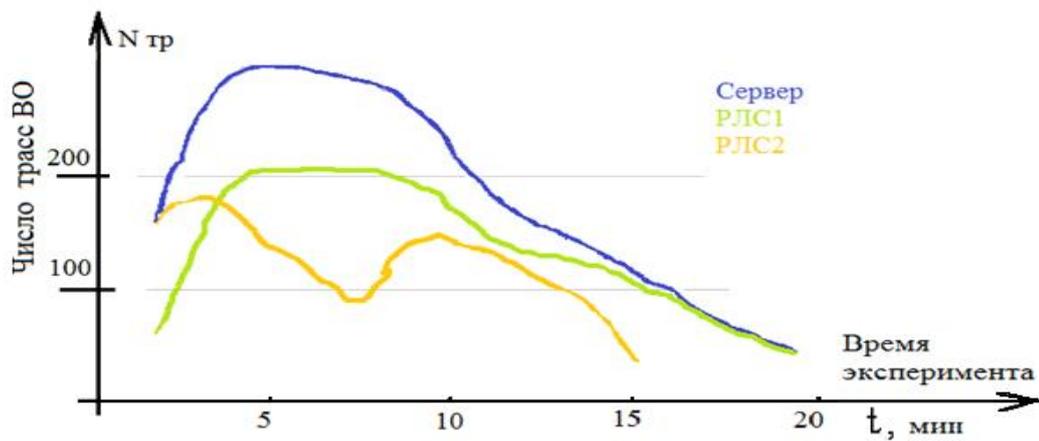
На рисунках 6.3а...6.3в изображена ситуация воздушной обстановки, в которой число обнаруженных ВО для одной из двух РЛС достигает максимума производительности – 200 трасс ВО. Общее число ВО во время эксперимента достигает 400. На рисунке 6.3б видно, что, так как движение ВО происходит эшелонами, РЛС № 2 поочередно обнаруживает ВО, построенные в 2 эшелона. При этом общая РЛИ, выдаваемая сервером и обрабатываемая по результатам поступления РЛИ от двух РЛС, достигает максимума для зоны ответственности сервера в момент нахождения в зоне обнаружения двух РЛС двух групп ВО. РЛС № 1 достигает максимума производительности – 200 трасс ВО, это показано на графике рисунка 6.3б.

Графики рисунка 6.3в демонстрируют изменения максимального и среднего за 10 с времени задержки РЛИ при обработке на сервере. При этом среднее время

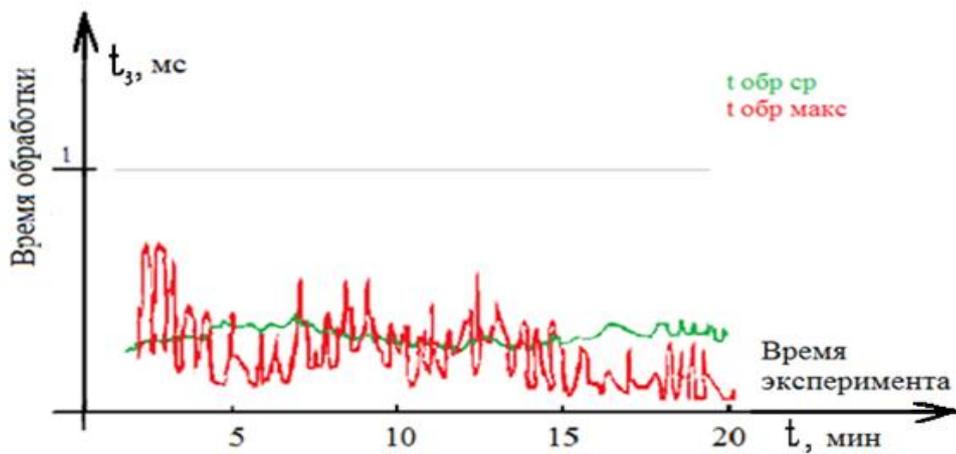
задержки при обработке составляет 55 мкс, максимальное время задержки не превышает 0,7 мс.



а)



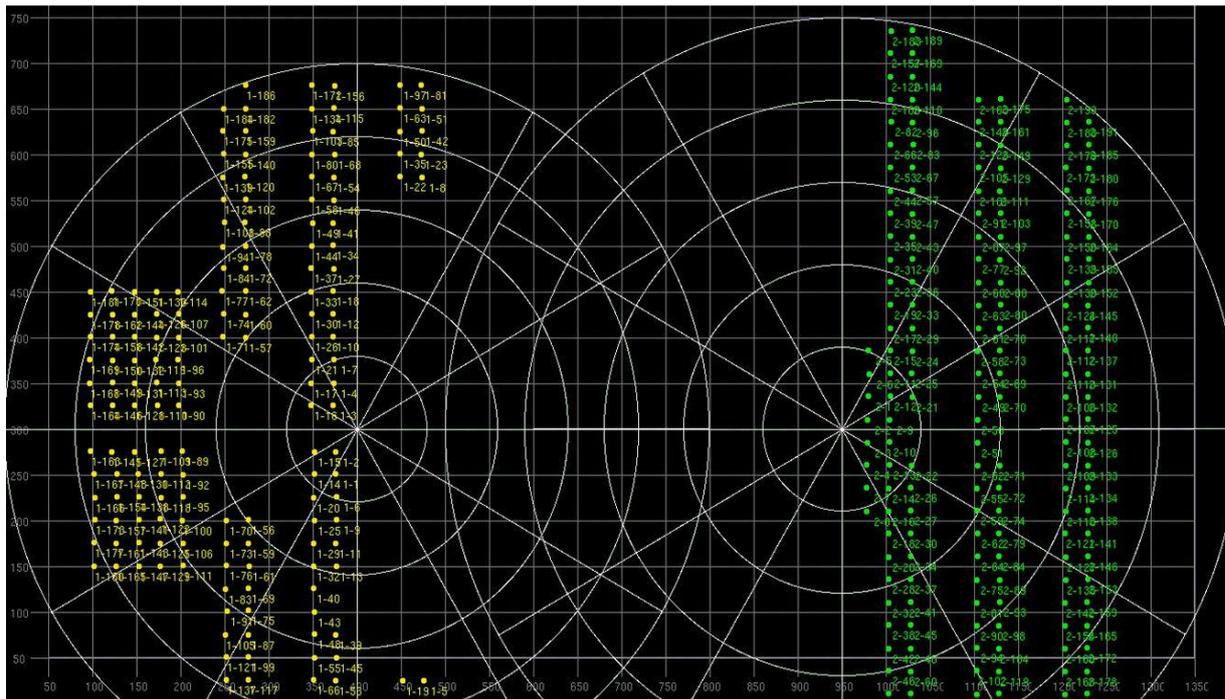
б)



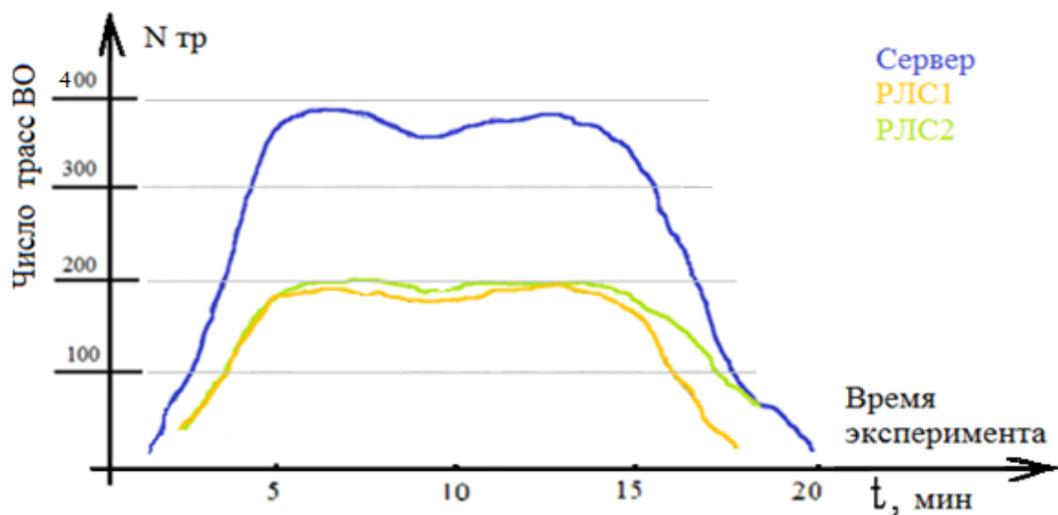
в)

Рисунок 6.3а...6.3в – Обработка РЛИ при максимальном для одной из двух РЛС количестве ВО

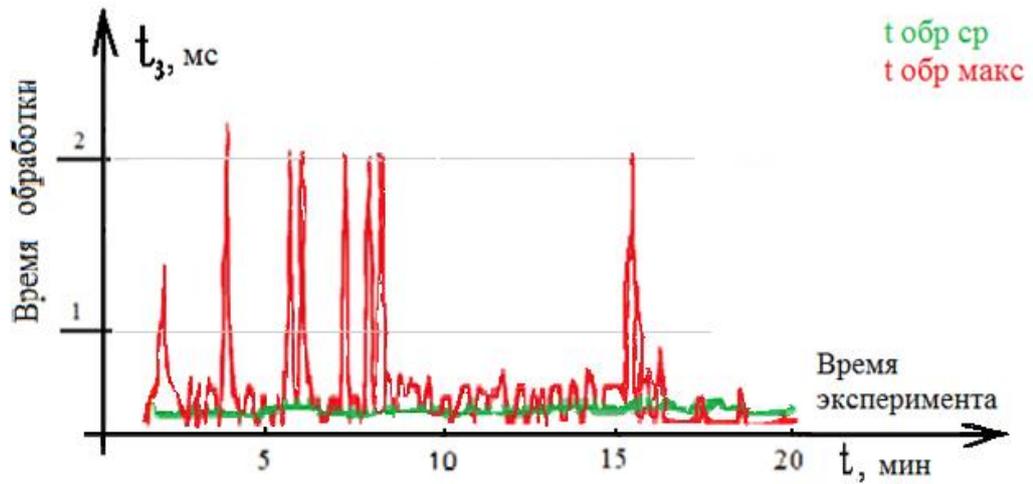
На рисунках 6.4а...6.4в представлена ситуация воздушной обстановки, в которой число сопровождаемых ВО для каждой РЛС поочередно достигает максимума производительности – 200 трасс ВО. Общее число ВО во время эксперимента достигает 400. Движение ВО организовано эшелонами, группы ВО поочередно входят в зону совместного обзора двух РЛС слева направо. Алгоритм сервера производит выбор источника РЛИ в зоне совместного обнаружения по критерию наименьшего СКО.



а)



б)

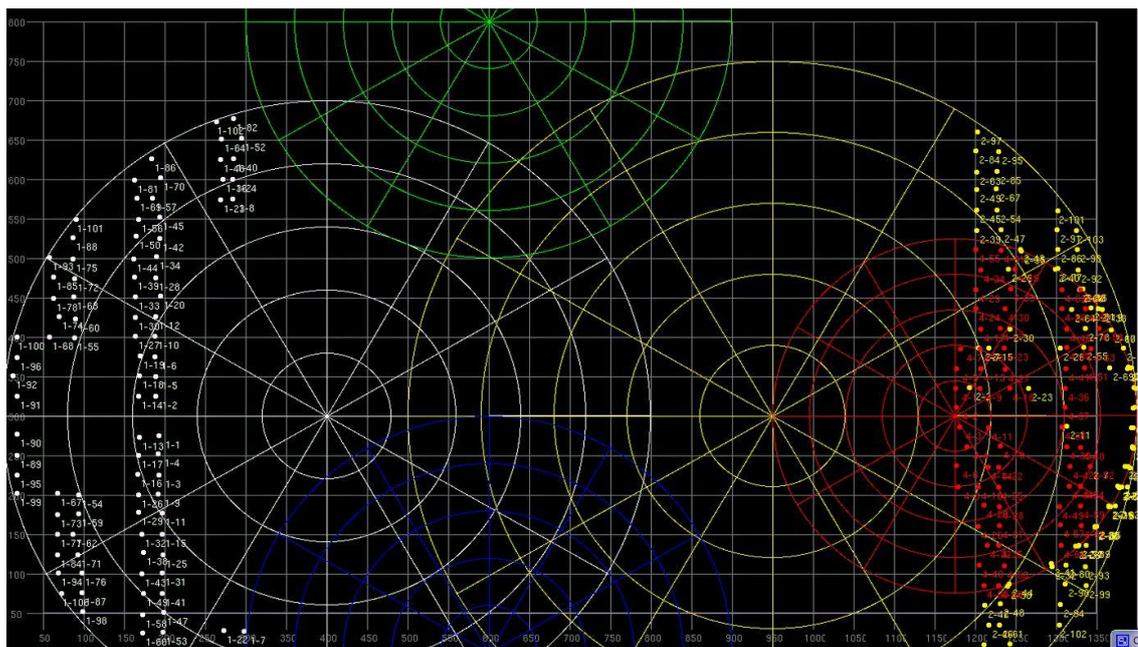


в)

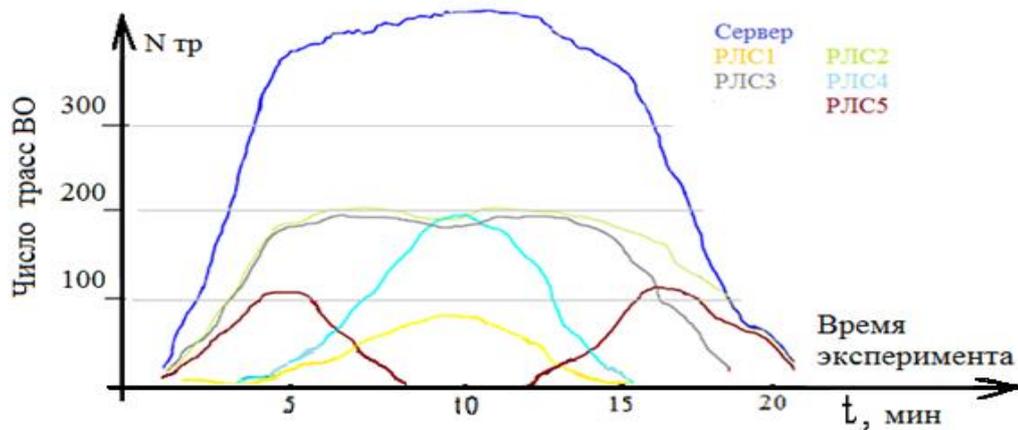
Рисунок 6.4а...в – Обработка РЛИ от двух РЛС

Уменьшение числа ВО (как сопровождаемых РЛС № 1 и № 2, так и обрабатываемых на сервере) в середине эксперимента свидетельствует о том, что часть ВО вышла из зоны обнаружения как РЛС № 1, так и РЛС № 2 (рис.6.4а, 6.4б). Среднее время задержки РЛИ при обработке составило 68 мкс, максимальное – незначительно превышает 2 мс (рис.6.4в).

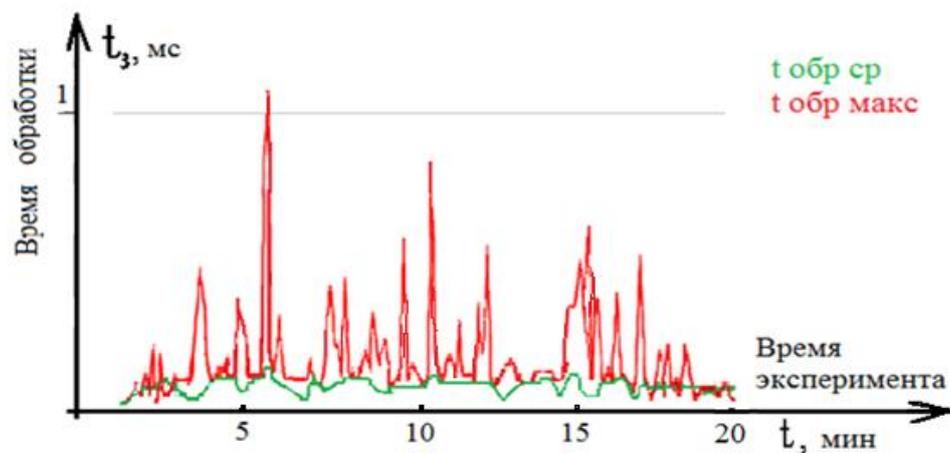
На рисунках 6.5а...6.5в представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение 400 ВО, а обнаружение осуществляется пятью РЛС, зоны обнаружения которых показаны на рисунке 3.5.4а.



а)



б)



в)

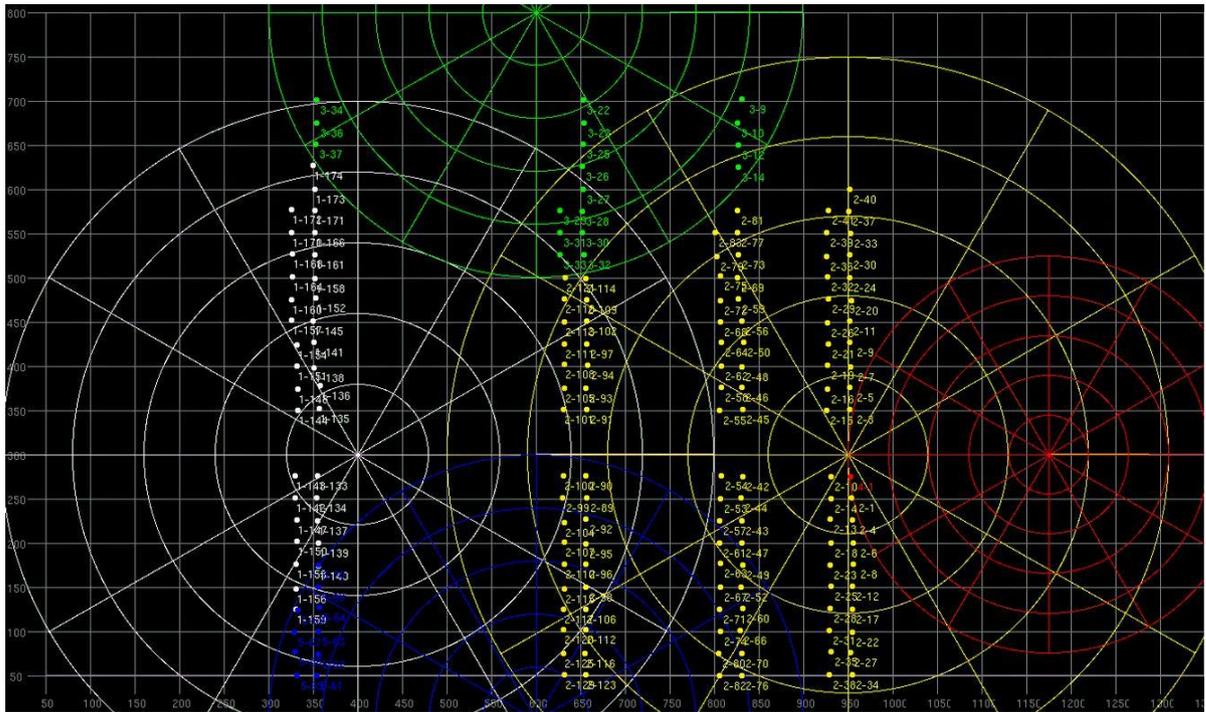
Рисунок 6.5а...6.5в – Обработка РЛИ от пяти РЛС

На рисунке 6.5в показано, что среднее время обработки составило 50 мкс, максимальное – около 1 мс.

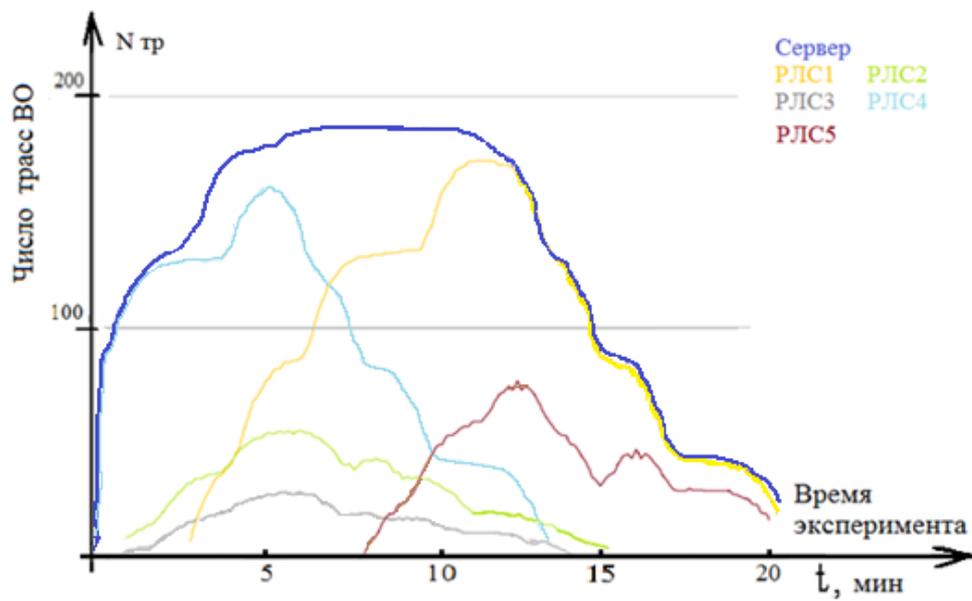
Движение ВО осуществляется двумя эшелонами по 200 ВО навстречу друг другу. На графике рисунка 6.5б видно, что общее количество ВО, обрабатываемое и выдаваемое сервером, плавно нарастает и достигает максимума в середине эксперимента, при этом, зоны обнаружения РЛС разные и расположены несимметрично. График обработки количества ВО (рис. 6.5б) и времени задержки (рисунок 6.5в) показывает корректные результаты при сравнении времени движения ВО, моментов вхождения в зоны обнаружения РЛС и выбора РЛС как источника с наименьшим СКО.

На рисунках 6.6а...6.6в представлены результаты обработки движения 180

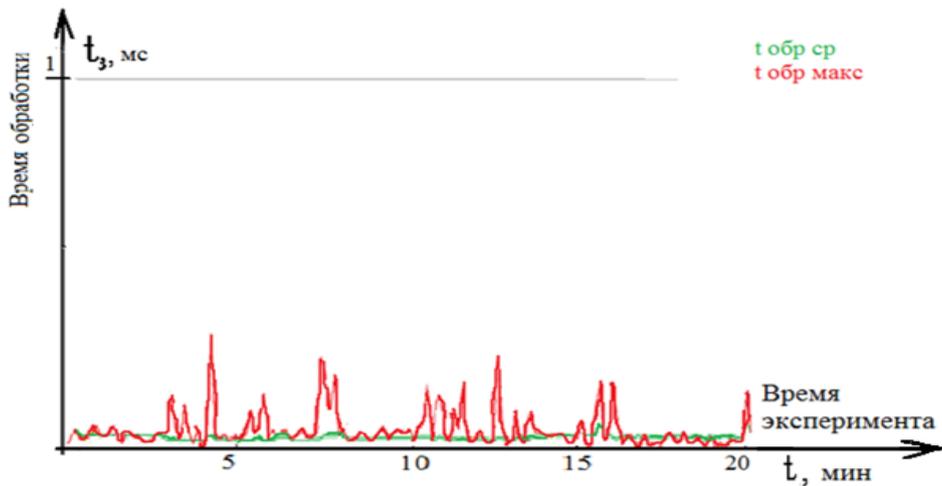
ВО с прямолинейными пересекающимися траекториями в зоне обнаружения пяти РЛС.



а)



б)

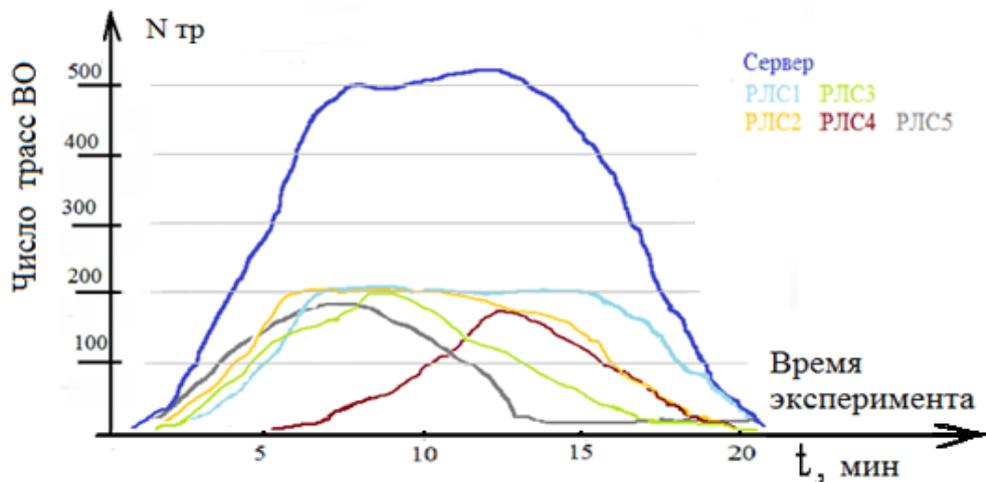


в)

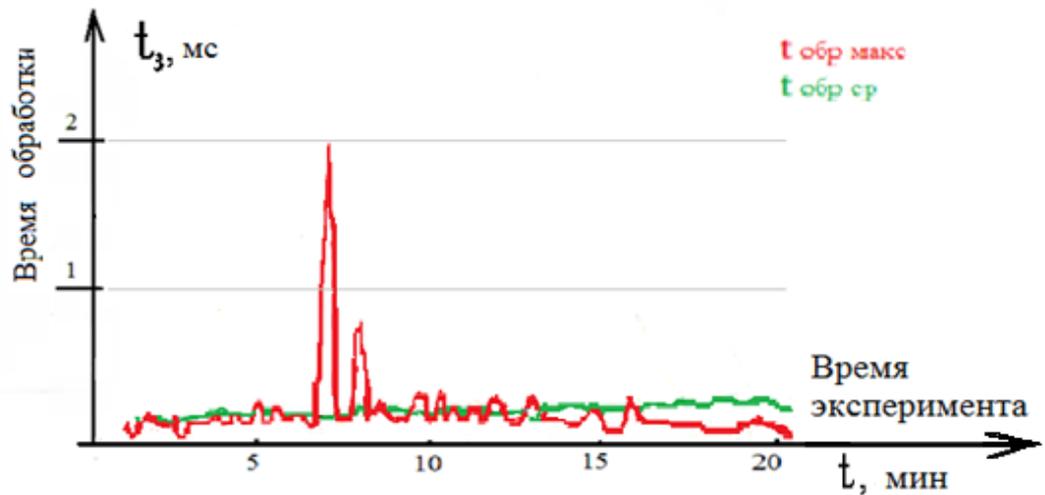
Рисунок 6.6а...6.6в – Обработка РЛИ от пяти РЛС

Движение ВО осуществляется четырьмя группами по 45 ВО навстречу друг другу справа и слева. Начало движения двух групп ВО слева происходит с задержкой относительно двух групп ВО, движущихся справа, примерно на 3 мин. Источник РЛС 2, обозначенный зеленым цветом, имеет наименьшее СКО, далее по величине СКО следует РЛС 1, обозначенная желтым цветом. С учетом этого на сервере происходит решение задачи объединения в совместной зоне обнаружения нескольких РЛС. Среднее время обработки составило 92 мкс.

На рисунках 6.7а...6.7б отображены результаты обработки РЛИ в ситуации воздушной обстановки при нахождении 1000 ВО в зоне обнаружения пяти РЛС.



а)

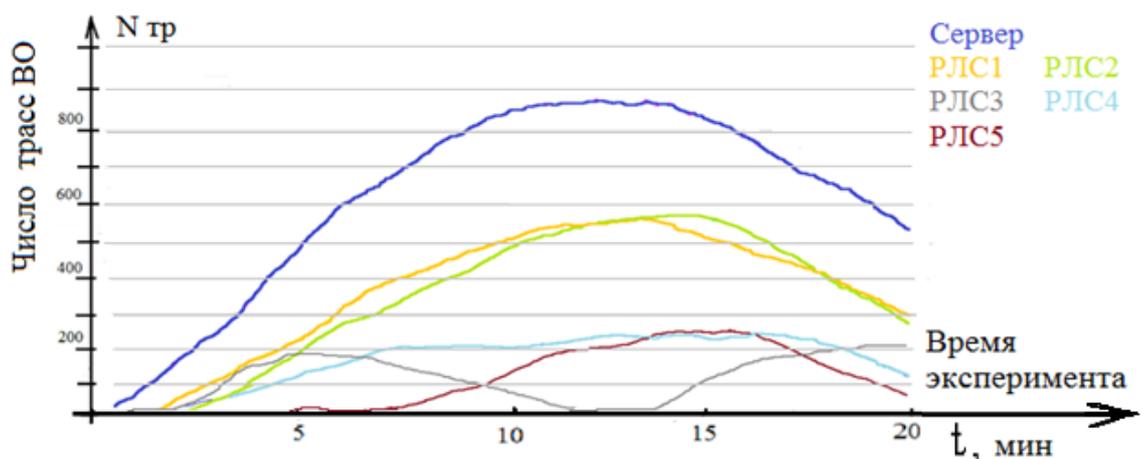


б)

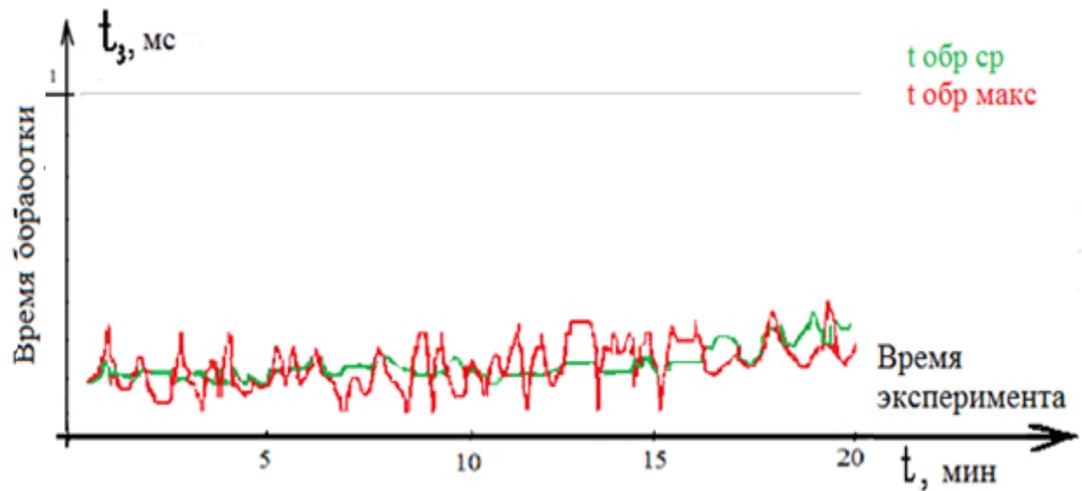
Рисунок 6.7а...6.7б – Обработка РЛИ, поступающей от пяти РЛС, на сервер

По графику числа ВО на рисунке 6.7а видно, что РЛС 1 и РЛС 2 достигают предела производительности, определенного в 200 ВО. Из-за указанного ограничения производительности на выходе сервера после обработки максимальное число ВО не превышает 550. Среднее время обработки составило 261 мкс, максимальное – около 2 мс.

На рисунке 6.8а...6.8б отображены результаты обработки РЛИ в аналогичной ситуации воздушной обстановки при нахождении 1000 ВО в зоне обнаружения пяти РЛС.



а)



б)

Рисунок 6.8а...6.8б – Обработка РЛИ, поступающей от пяти РЛС, на сервер. Отличие от ситуации, показанной на рисунке 6.7а, состоит в том, что для всех РЛС отсутствуют ограничения по максимальной производительности. В этом случае число ВО на выходе сервера после обработки РЛИ составляет около 880, т.к. по условиям формирования воздушной обстановки 1000 ВО не находятся в зонах обнаружения пяти РЛС одновременно.

На рисунке 6.8в показано, что среднее время обработки составило 246 мкс, максимальное – около 0,4 мс.

Анализ рисунков 6.2...6.8 показывает, что среднее время обработки РЛИ на сервере увеличивается от 50 до 260 мкс в зависимости от числа РЛС и обнаруженных ВО. Среднее время задержки при обработке РЛИ на сервере по всем экспериментам составило 123 мкс; максимальное время задержки – 2,3 мс. Необходимо учесть, что определенные погрешности при измерениях были внесены локальной вычислительной сетью, а также использованием неспециализированных компьютеров. Применяемые компьютеры, особенно ЭВМ сервера, одновременно с обработкой РЛИ выполняли функции отображения. Эти функции, как будет показано ниже, предлагается возложить на другие ЭВМ. Тем самым величина задержки при обработке РЛИ на сервере может быть уменьшена.

6.2.2 Воздушные объекты, движущиеся с маневром

При движении ВО, осуществляющих маневры, моделировался процесс обработки РЛИ на сервере и с использованием имитационной модели проверялись следующие вопросы:

- непрерывность выдачи РЛИ потребителю при отключении и повторном включении выдачи РЛИ от одной из двух РЛС;
- непрерывность выдачи РЛИ потребителю при маневрировании ВО и пересечении зон обнаружения двух РЛС;
- непрерывность выдачи РЛИ потребителю при маневрировании ВО в совместной зоне обнаружения двух РЛС;
- непрерывность выдачи РЛИ потребителю при маневрировании ВО на гиперзвуковой скорости, в совместной зоне обнаружения двух РЛС, при периодическом выходе из этой зоны.

На рисунке 6.9 представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется отключение и повторное включение выдачи РЛИ на сервер от одной из двух РЛС в совместной зоне обнаружения.

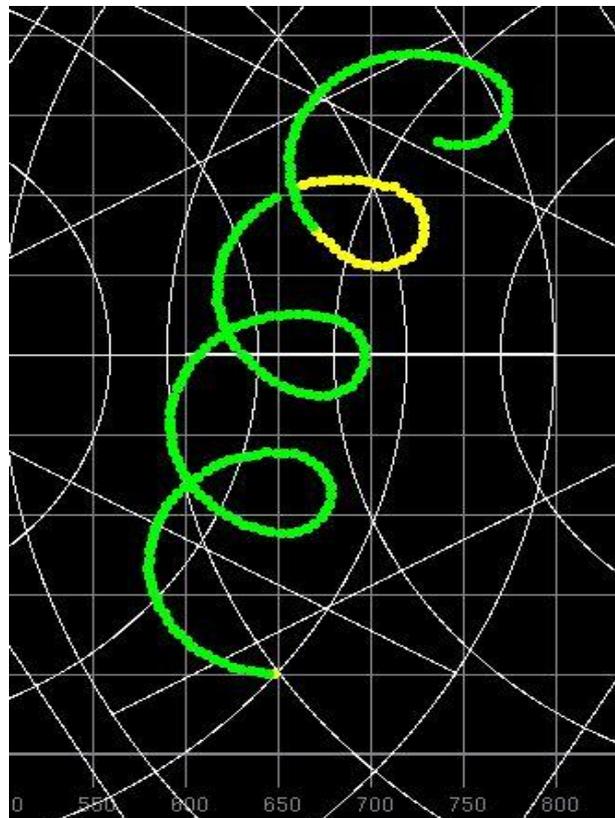
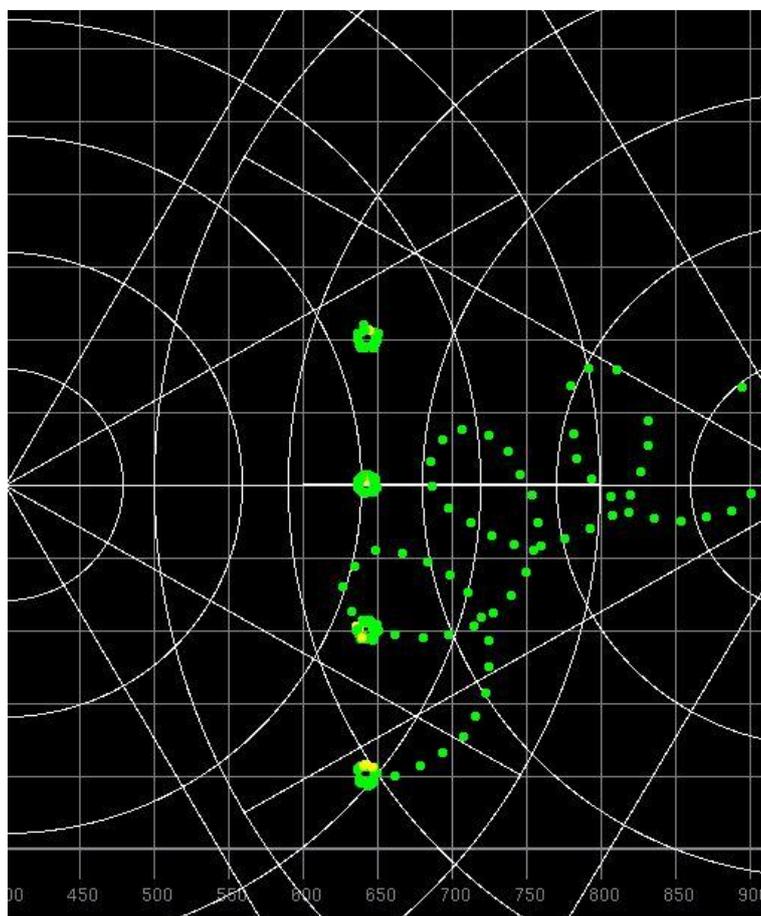


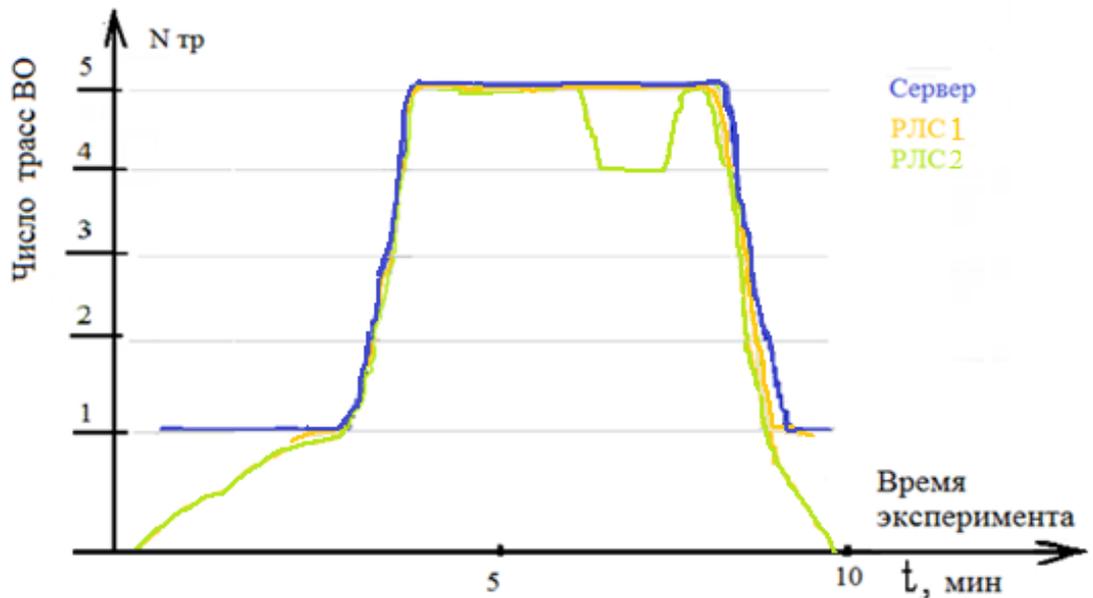
Рисунок 6.9 – Проверка непрерывности выдачи РЛИ потребителю

При этом выполняется условие непрерывности выдачи РЛИ потребителю: происходит замена источника, прекратившего выдачу РЛИ (автоматическая замена источника показана желтым цветом). Движение ВО осуществляется с изменяющимся радиусом с ускорением $0.37 g$ и скоростью 1800 км/ч (500 м/с).

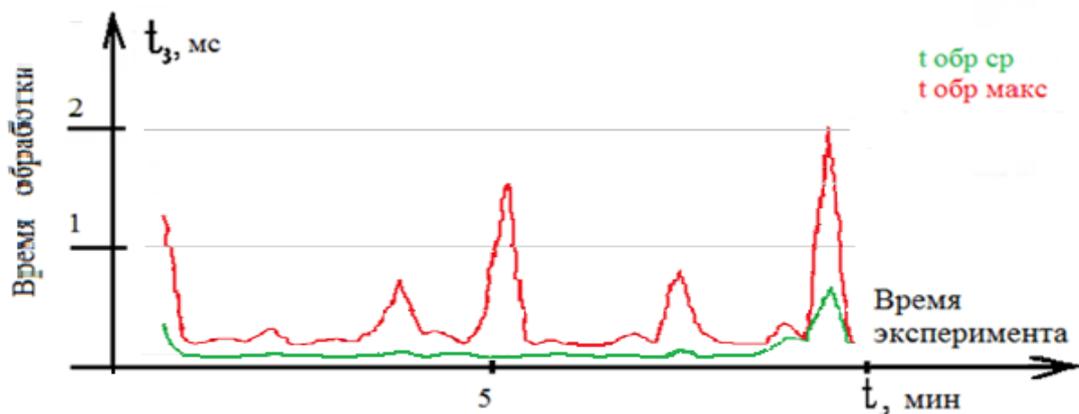
На рисунке 6.10а...6.10в представлена ситуация воздушной обстановки, в которой осуществляется движение пяти ВО, из них четыре движутся по замкнутой траектории, а пятая – по криволинейной с переменным радиусом разворота. В ходе эксперимента кратковременно отключается одна из РЛС, при этом сохраняется непрерывность выдачи РЛИ (происходит замена источников сервером).



а)



б)



в)

Рисунок 6.10 – Непрерывность выдачи РЛИ потребителю при маневрировании ВО и пересечении зон обнаружения

На рисунках 6.11а...6.11б представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение ВО, осуществляющих маневры, в совместной зоне обнаружения двух РЛС при периодическом выходе ВО из этой зоны. Желтым цветом показано переключение выдачи РЛИ от другого источника при выходе из совместной зоны обнаружения. На рисунке 6.11б показано слияние двух трасс ВО, при этом смоделирована ситуация, в которой разрешение РЛС не позволяет разделить два ВО. Сервер производит сброс «лишней» трассы ВО и выдачу РЛИ только по одной трассе, как это осуществляет РЛС.

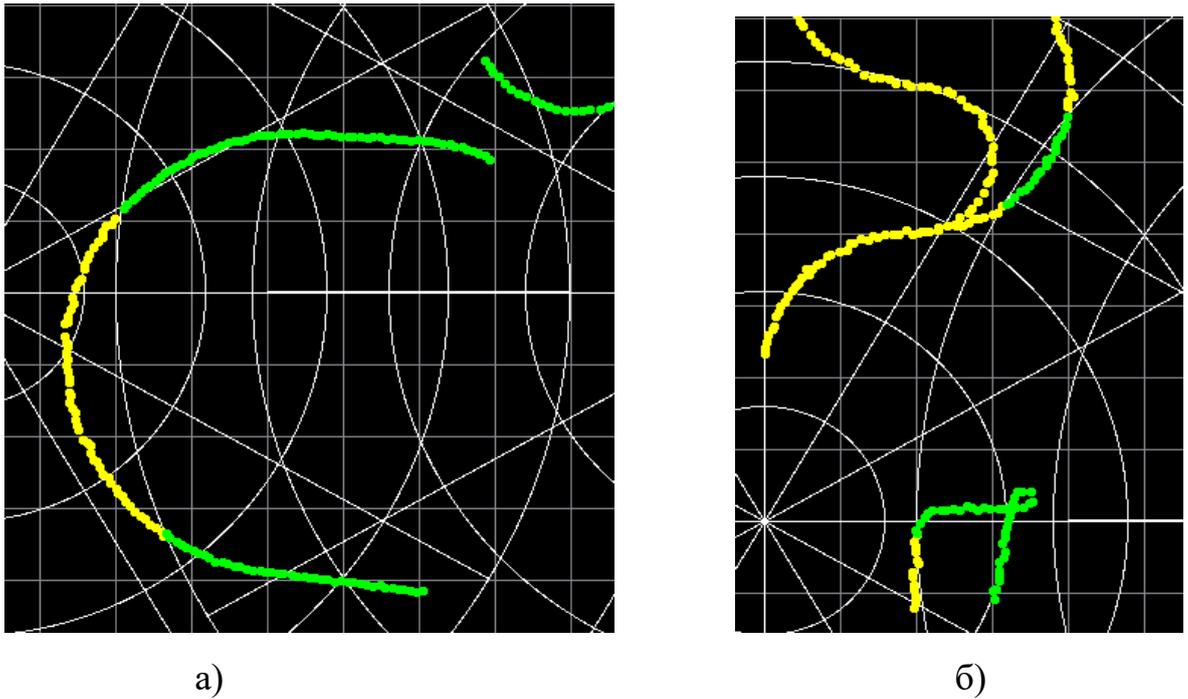
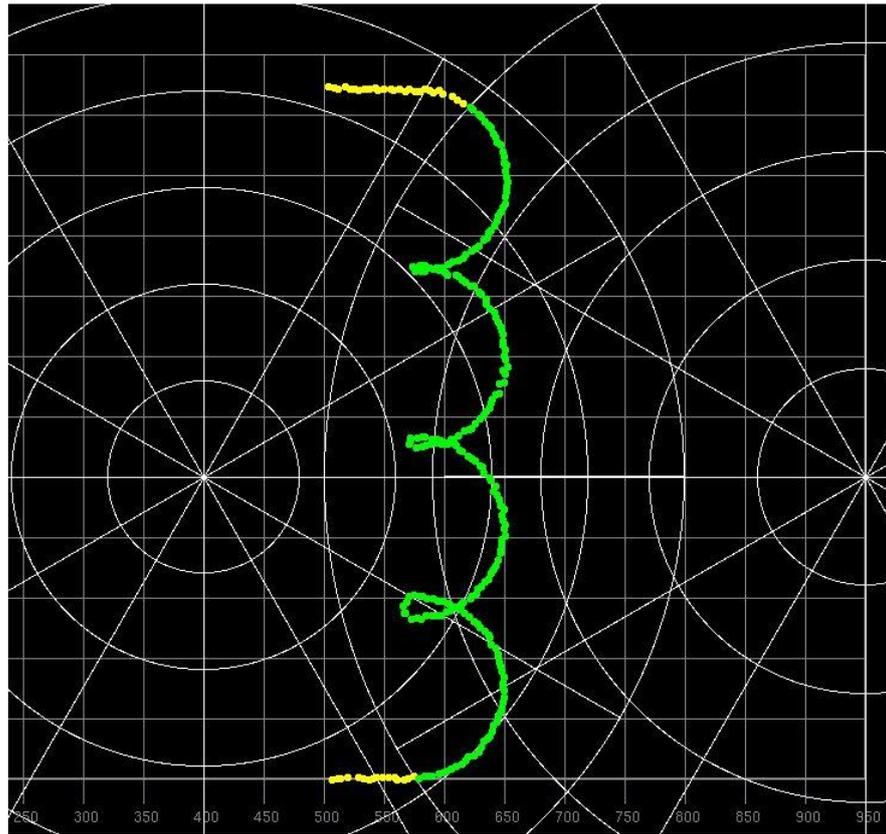
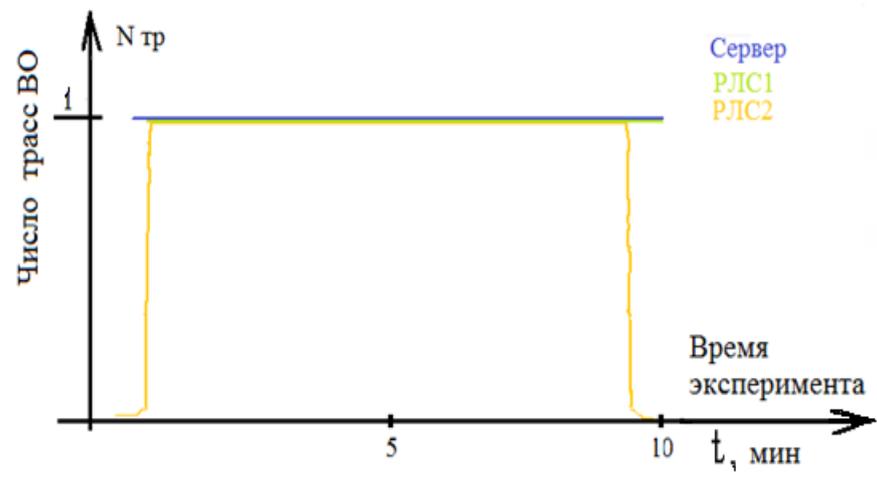


Рисунок 6.11 – Движение ВО, осуществляющих маневры, при пересечении зон обнаружения РЛС

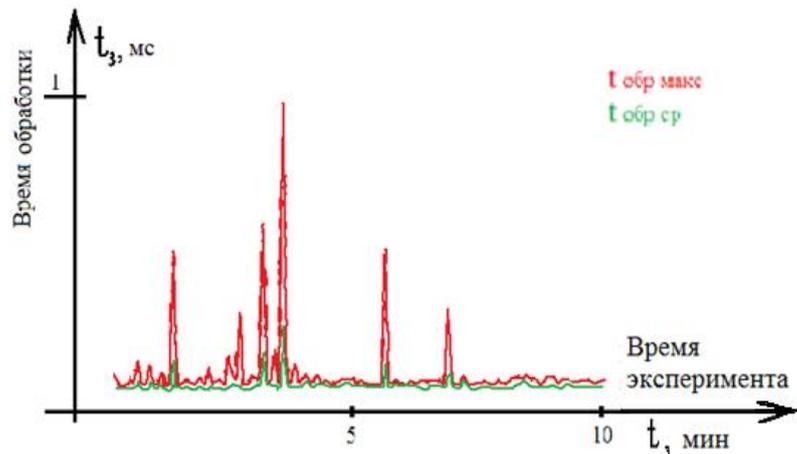
На рисунке 6.12а...6.12в изображена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение ВО, осуществляющего маневры, в совместной зоне обнаружения двух РЛС. Скорость ВО – 1500 км/ч, радиусы разворотов составляют: 1-го – 8.68 км (перегрузка 2g), 2-го – 4.34 км (перегрузка 4g), 3 – 1.928 км (перегрузка 9g). Размер строга точного отбора – 1280 м. Среднее время обработки составило 54 мкс.



а)



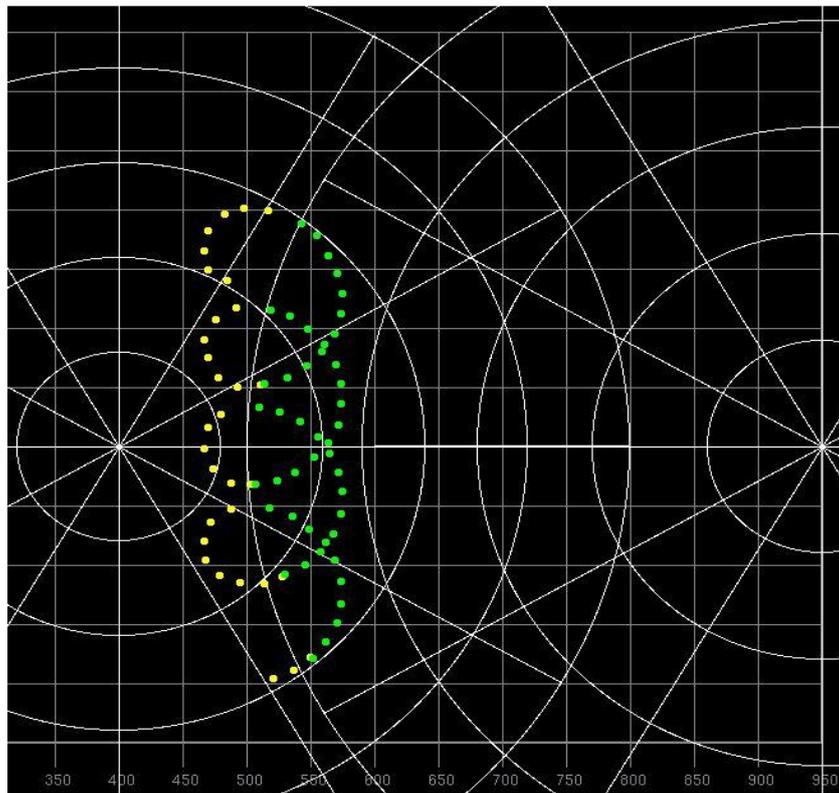
б)



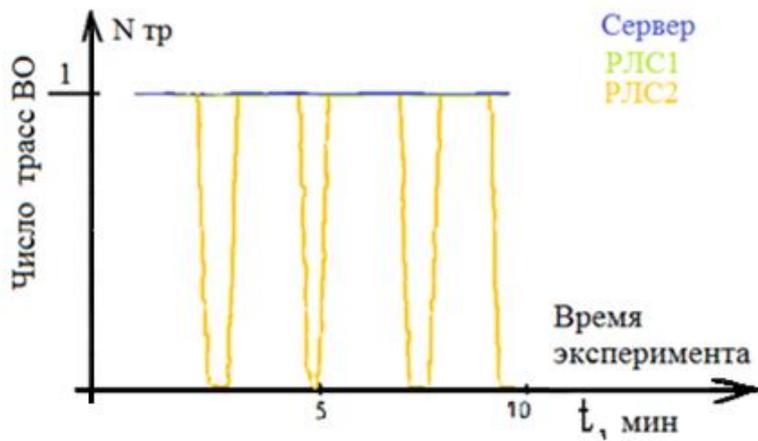
в)

Рисунок 6.12а...6.12в – Движение ВО, осуществляющего маневры в совместной зоне обнаружения двух РЛС при различных перегрузках

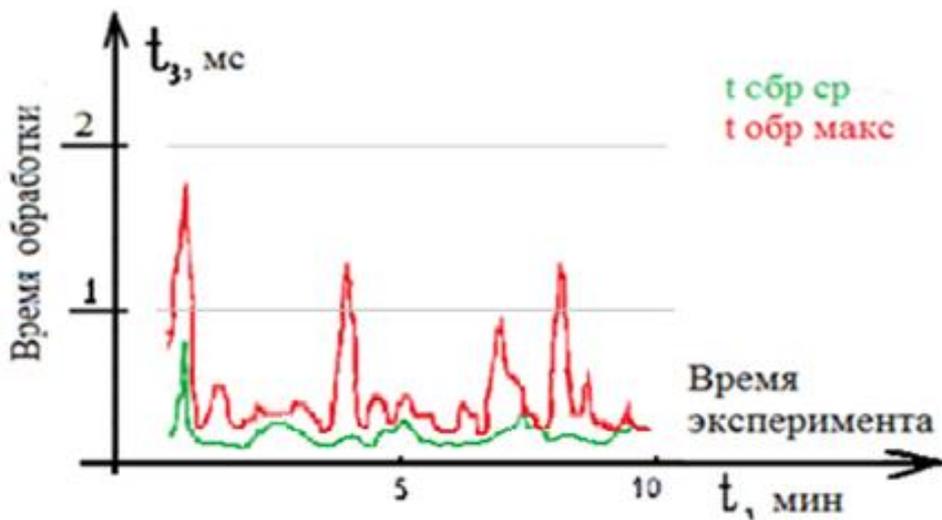
На рисунке 6.13а...6.13в представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение ВО, осуществляющего маневры на гиперзвуковой скорости, в совместной зоне обнаружения двух РЛС, при периодическом выходе из этой зоны. Скорость ВО – 6235 км/ч, радиусы разворотов: большой 75 км (перегрузка 4g), малый 33.3 км (перегрузка 9g). Размер строга точного отбора – 1280 м. Среднее время обработки составило 60 мкс



а)



б)



в)

Рисунок 6.13 – Движение ВО, осуществляющего маневры на скорости 6235 км/ч, в совместной зоне обнаружения двух РЛС

На рисунках 6.14, 6.15 и 6.16 представлены ситуации воздушной обстановки, в которых моделируется движение ВО, осуществляющего маневры на сверхзвуковой скорости. При этом проводится обработка РЛИ на сервере в совместной зоне обнаружения двух РЛС. На рисунке 6.14 параметры движения ВО следующие: радиус поворота – 500 км, ускорение – 0.5g, скорость – 1800 м/с, размер строга точного отбора – 7683 м.

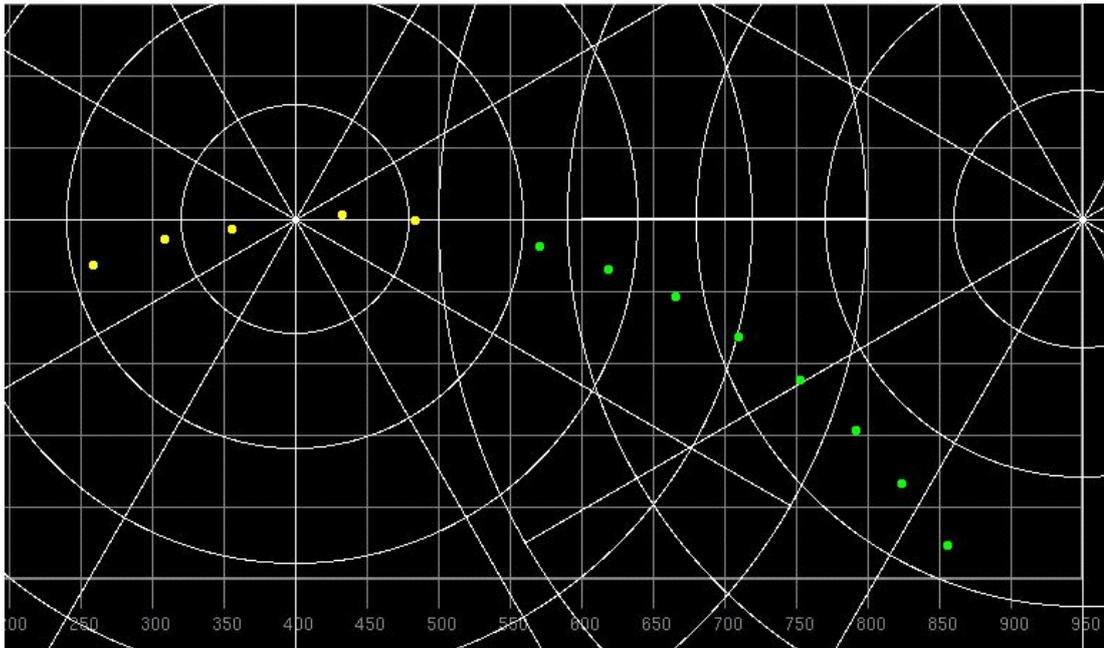


Рисунок 6.14 – Объединение ВО, осуществляющего маневр, в совместной зоне обнаружения двух РЛС

На рисунке 6.15 параметры движения ВО следующие: радиус поворота – 500 км, ускорение – $1.38g$, скорость – 3000 м/с, размер строга точного отбора – 7683 м. При указанных параметрах движения ВО наблюдается выход из строга точного отбора и, в результате, необъединение двух отметок о ВО. Причиной является высокая скорость ВО и принятое при экстраполяции предположение о прямолинейном равномерном движении. В результате увеличения размеров строга точного отбора в два раза наблюдалось объединение отметок о ВО на скорости 3000 м/с. Эти результаты отображены на рисунке 6.16.

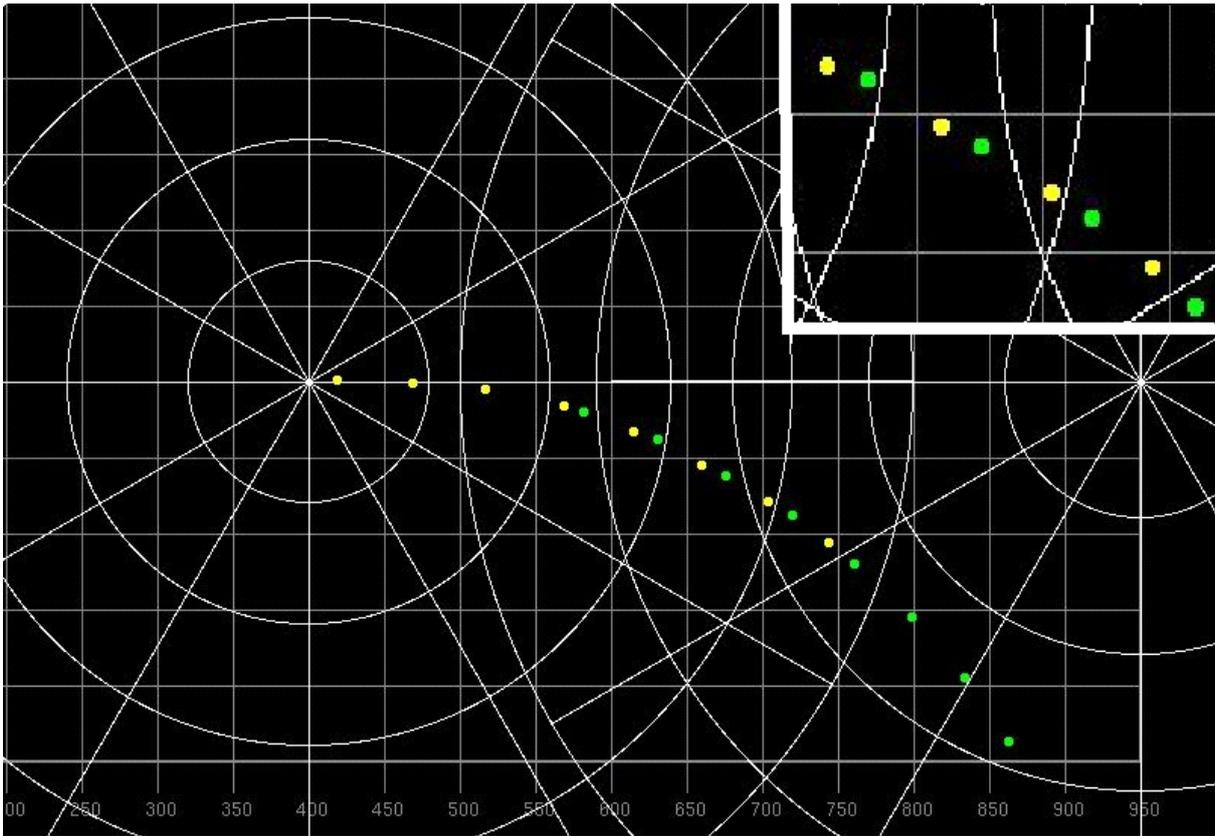


Рисунок 6.15 – Необъединение ВО, осуществляющего маневр, на скорости 3000 м/с

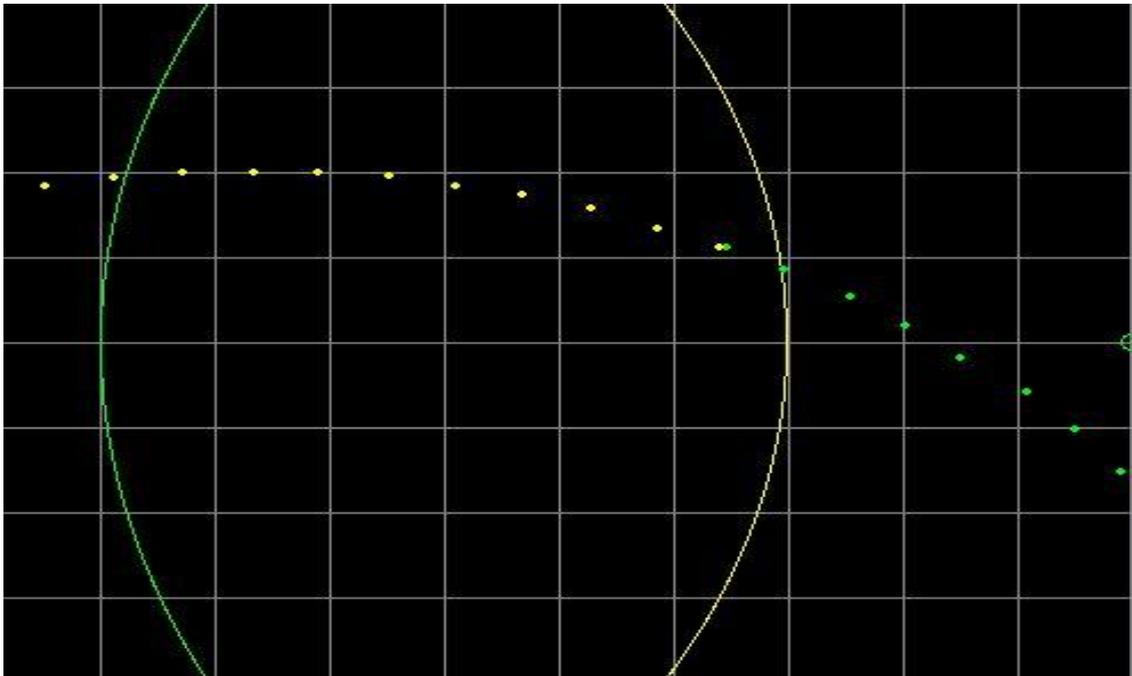


Рисунок 6.16 – Объединение ВО, осуществляющего маневр, на скорости 3000 м/с, с увеличенным стробом точного отбора

На рисунке 6.17 представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение ВО, осуществляющего маневры с различными перегрузками, при пересечении зон обнаружения нескольких РЛС. Радиус поворотов составляет 2,5 км. Перегрузки на поворотах следующие: на первом – 2g, на втором – 4g, на третьем – 9g. Значения скоростей движения ВО на поворотах составляют: на первом – 800 км/ч, на втором – 1138 км/ч, на третьем – 1707 км/ч.

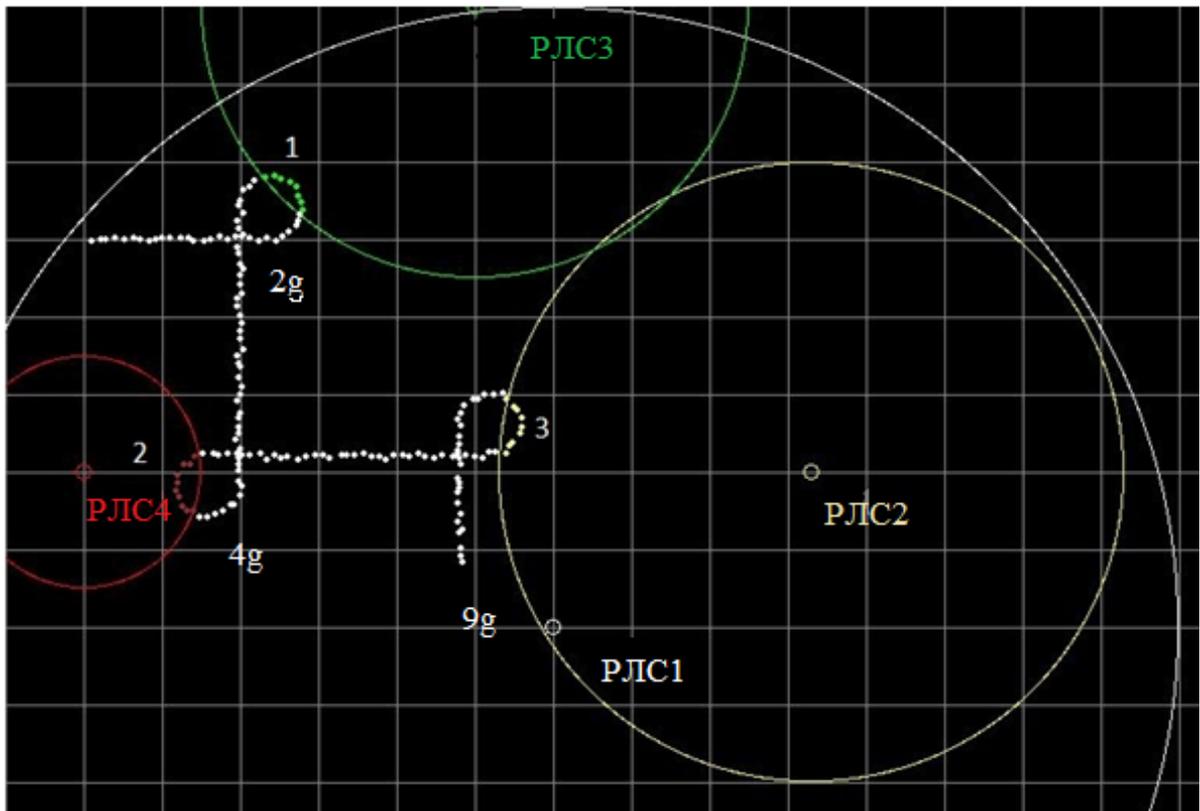


Рисунок 6.17 – Объединение РЛИ о ВО, осуществляющего маневр на границах зон обнаружения РЛС с переменной скоростью

На рисунке 6.18 изображены результаты проводки ВО устройством MRT (Multi-Radar Tracker), разработанном в 2011 г. корпорацией Northrop Grumman [158], в ситуации воздушной обстановки, которая сравнима с воздушной обстановкой, приведенной на рисунке 6.17. Следует отметить, что в исследованных открытых зарубежных источниках отсутствует информация о времени задержки при обработке РЛИ, а также об алгоритмах, применяемых для обработки РЛИ.

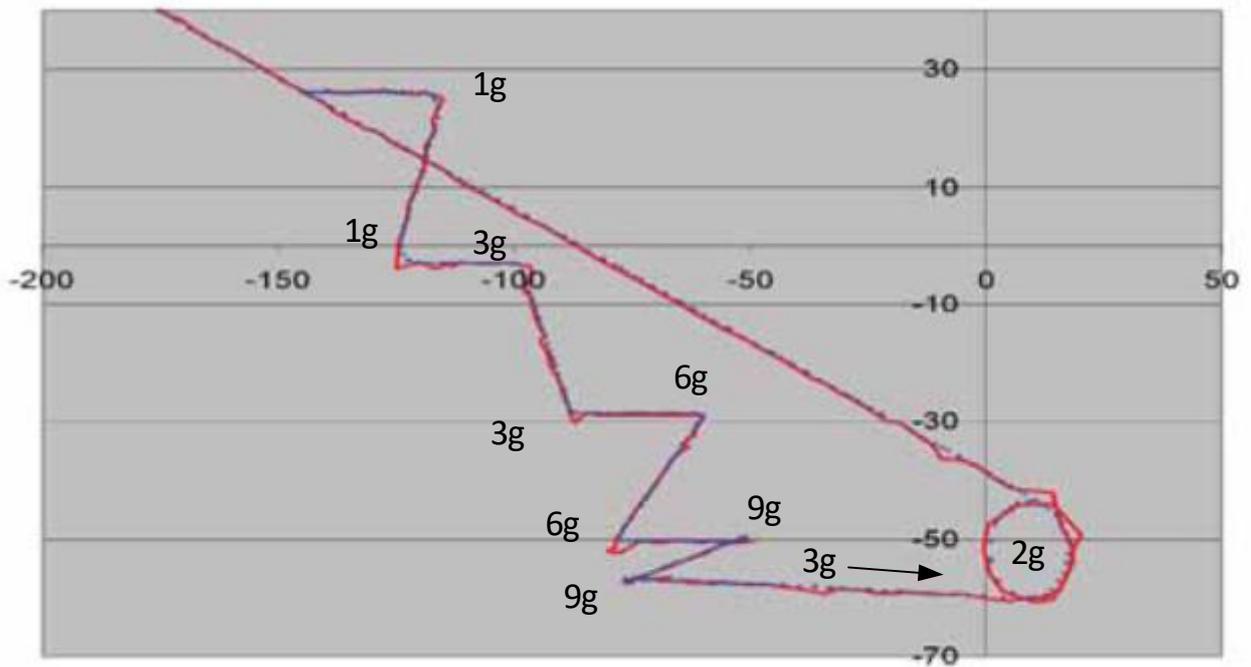


Рисунок 6.18 – Результаты проводки ВО устройством MRT корпорации Northrop Grumman

Анализ рисунков 6.17 и 6.18 позволяет заключить, что разработанный алгоритм обработки РЛИ, предлагаемый для применения на сервере информационной системы сетевой структуры, показывает результаты лучше зарубежного аналога. Это следует из анализа траектории ВО, изображенной красным цветом на рисунке 6.18. Здесь неправильная форма траектории ВО, осуществляющего разворот, обусловлена наличием ошибок экстраполяции. На рисунке 6.17 подобные искажения траектории ВО, осуществляющего разворот на пересечении зон обзора нескольких РЛС, отсутствуют.

Результаты математического моделирования обработки РЛИ на сервере сетевой структуры, подтвердили работоспособность разработанного алгоритма сетевой обработки РЛИ на сервере. Число объектов, заданное в рамках моделирования (1000), может при необходимости значительно увеличиваться. Среднее и максимальное время обработки РЛИ существенно меньше времени обработки в существующих КСА. При обработке РЛИ алгоритмы сервера корректно осуществляют сопровождение маневрирующих объектов, переключение источников при пересечении зон обнаружения РЛС.

6.3 Экспериментальные результаты объединения разнородной информации от некогерентных источников по неполным данным [7, 85, 86, 102, 167, 169, 204, 205, 206]

Подраздел составлен по экспериментальным данным сетевой обработки информации взаимодействия, поступающей от радиолокационного и оптического модулей, входящих в состав комплекса обнаружения малогабаритных БПЛА.

Эксперименты проводились с целью определения возможности отличия птиц и БПЛА, а также определение возможностей сетевой обработки по объединению информации, поступающей от разнородных источников (в том числе по объединению информации по неполным данным).

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие класса малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) и их применение в самых различных целях. Простота и дешевизна позволяют массово использовать подобные аппараты для ведения видеонаблюдения, различного вида разведки, доставки небольших грузов, а в некоторых случаях и в качестве носителей боевой нагрузки. Проблема обнаружения МБПЛА выходит на первый план, и в основном потому, что далеко не всегда традиционные методы обнаружения малогабаритных объектов достаточно эффективны. Малая эффективная площадь рассеивания (ЭПР), высокая маневренность, трудно отличимые признаки от биологических и природных объектов, в основном птиц, создают большие трудности в обнаружении и распознавании такого класса воздушных объектов.

Особенности сетевой обработки при объединении разнородной информации по неполным данным

Одним из возможных путей решения указанной проблемы является создание комплексов обнаружения МБПЛА, включающих радиолокационные, оптические и ИК модули различных диапазонов [206].

Вместе с тем, возникает серьезная проблема объединения разнородной информации, поступающей от разных по принципам функционирования модулей,

внутри комплексов. Обеспечение работы комплекса в условиях временной и пространственной некогерентности принимаемых сигналов при пространственном разнесении отдельных модулей является только частью большой задачи по объединению информации. Разнородность информации подразумевает, что данные поступают не только в разных протоколах обмена – эта проблема решается конвертацией протоколов с помощью кодограммного менеджера [101], но и в некоторых случаях не содержат полных данных о координатах обнаруженных объектов. Так, например, оптические и ИК модули, оснащенные лазерными дальномерами, вследствие малой ЭПР МБПЛА в некоторых случаях недостоверно измеряют дальность, или измерение по дальности отсутствует совсем. В таких условиях традиционный алгоритм третичной обработки [125] работать не может, для его функционирования необходимы полные данные по всем трем координатам (прямоугольным или сферическим).

Сетевая обработка, как метод [90] и разработанный на его основе алгоритм, обладает одним важным преимуществом перед традиционной третичной обработкой – малое время объединения информации, составляющее сотни микросекунд. Именно эта особенность позволяет использовать неполные данные от некоторых источников при условии, что одновременно с источником, выдающим неполные данные, работает источник, у которого недостающие и достоверные данные имеются.

В качестве примера рассмотрим функционирование комплекса обнаружения БПЛА и птиц, состоящего из радиолокационного модуля L диапазона и оптического модуля [204, 205, 206]. В данном случае дальность до воздушного объекта измеряется радиолокационным модулем, работающем в режиме кругового обзора. После обнаружения одного или нескольких объектов по определенным признакам принимается решение о выдаче целеуказания для оптического модуля и последующего распознавания объекта оператором или автоматически со значительно более высокой вероятностью, чем вероятность распознавания радиолокационного модуля. Данные от оптического модуля по азимуту и углу места значительно точнее,

чем у радиолокационного, а измерение по дальности, вследствие вышеуказанных причин, недостоверно или отсутствует совсем.

Сетевая обработка позволяет при объединении подобной разнородной информации использовать достоверные и наиболее точные данные от разных источников. Это процесс происходит следующим образом и при следующих условиях:

- трассы от радиолокационного модуля и неполные данные от оптического модуля поступают на вход сервера сетевой обработки (ССО);

- перед объединением на сервере необходимо дополнить сообщение от оптического модуля достоверной координатой по дальности;

- учитывая, что источники некогерентны и имеют разные периоды обзора, причем $T_{рлм} \gg T_{ом}$, необходимо между обзорами радиолокационного модуля производить экстраполяцию предыдущего измерения по дальности $D_{рлм}$ в соответствии с периодами обзора оптического модуля, до поступления нового измерения от радиолокационного модуля, и вставлять полученное экстраполированное значение дальности $D_{том\ экстр}$ в сообщение от оптического модуля перед поступлением на сервер сетевой обработки для объединения. Здесь m – количество обзоров порядковый номер сообщения от оптического модуля внутри временного интервала обзора радиолокационного модуля

$$m = \frac{T_{рлм}}{T_{ом}} \quad (6.1)$$

Таким образом, в промежуток времени, равный времени обзора радиолокационного модуля $T_{рлм}$ между двумя сообщениями от радиолокационного модуля со сферическими координатами $(\alpha_1; \beta_1; D_1)_{рлм}$ и $(\alpha_2; \beta_2; D_2)_{рлм}$ на вход сервера сетевой обработки будут поступать m -сообщений от оптического модуля

$$(\alpha_1; \beta_1; D_{1\ экстр})_{ом} \dots (\alpha_m; \beta_m; D_{m\ экстр})_{ом}, \quad (6.2)$$

где α – координаты по азимуту, β – координаты по углу места, D – координаты по дальности.

Алгоритм сетевой обработки претерпевает некоторые дополнения и представлен на рис.6.19 [102].

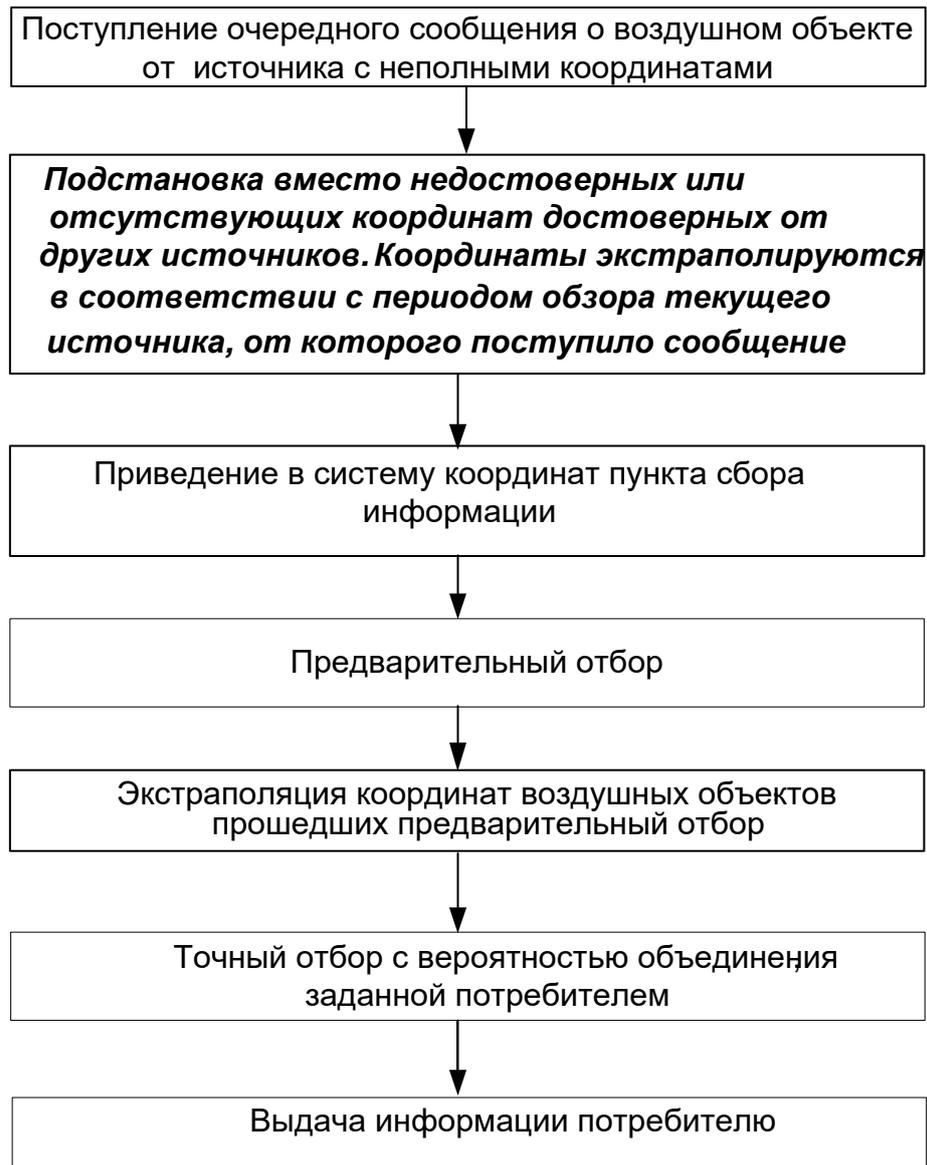


Рисунок 6.19– Этапы метода сетевой обработки при объединении неполных данных от разнородных источников

При сетевой обработке принята система приоритетов источников – по достоверности, непрерывности и т.п. Приоритеты источников могут изменяться в процессе сетевой обработки и сопровождения объектов. Так, например, в процессе поиска более высокий приоритет имеет радиолокационный модуль, а после захвата объекта оптическим модулем приоритет переходит к последнему. Приоритет, таким образом, является адаптивным и меняется в зависимости от условий обстановки.

Сервер сетевой обработки по результатам данных от источников в реальном масштабе времени, с учетом адаптивных приоритетов выбирает и выдает на выход

данные только по одной, самой оптимальной трассе. В случае потери трассы приоритетным источником сервер сетевой обработки осуществляет автоматический переход на менее приоритетный источник с целью поддержания непрерывности выдачи информации на своем выходе.

Результаты экспериментальных измерений

На рисунках 6.20-6.23 приведены результаты обработки некоторых экспериментальных данных по объединению разнородной информации от некогерентных пространственно разнесенных оптического и радиолокационного модулей [205, 206].

При сетевой обработке информации от источников с неполными данными принимаются во внимание следующие особенности функционирования комплекса обнаружения:

1. Радиолокационный модуль выдает целеуказания для оптического модуля.
2. Приоритеты источников могут изменяться в процессе сетевой обработки и сопровождения объектов. Так, например, в процессе поиска более высокий приоритет имеет дециметровый модуль, а после захвата объекта оптическим модулем приоритет переходит к последнему. Приоритет, таким образом, является адаптивным и меняется в зависимости от условий обстановки.
3. Сервер сетевой обработки по результатам данных от источников в реальном масштабе времени, с учетом адаптивных приоритетов выбирает и выдает на выход данные только по одной, самой оптимальной трассе. В случае потери трассы приоритетным источником алгоритм сервера сетевой обработки осуществляет автоматический переход на менее приоритетный источник с целью поддержания непрерывности выдачи информации на своем выходе.
4. Непосредственно в ходе обработки экспериментальных данных выявлена возможность объединения информации от разнородных источников по неполным данным. Так, например, оптический модуль не выдает дальность до наблюдаемого объекта, но достаточно точно определяет азимут и угол места. В этом случае

за значение дальности принимается дальность от дециметрового модуля, экстраполированная на время очередной отметки от оптического модуля. Эта процедура необходима вследствие большой разницы во времени обзора дециметрового (4 с) и оптического модулей (200 мс).

Ниже приведены графики по результатам обработки некоторых экспериментальных данных по объединению разнородной информации от некогерентных пространственно разнесенных оптического и радиолокационного модулей, построенные указанными выше способами сетевой обработки.

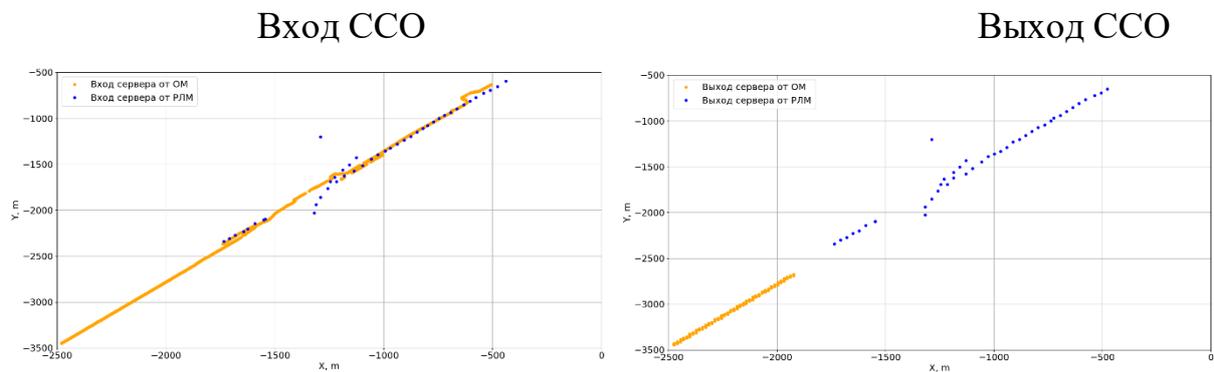


Рисунок 6.20 – Трассовая обстановка № 1

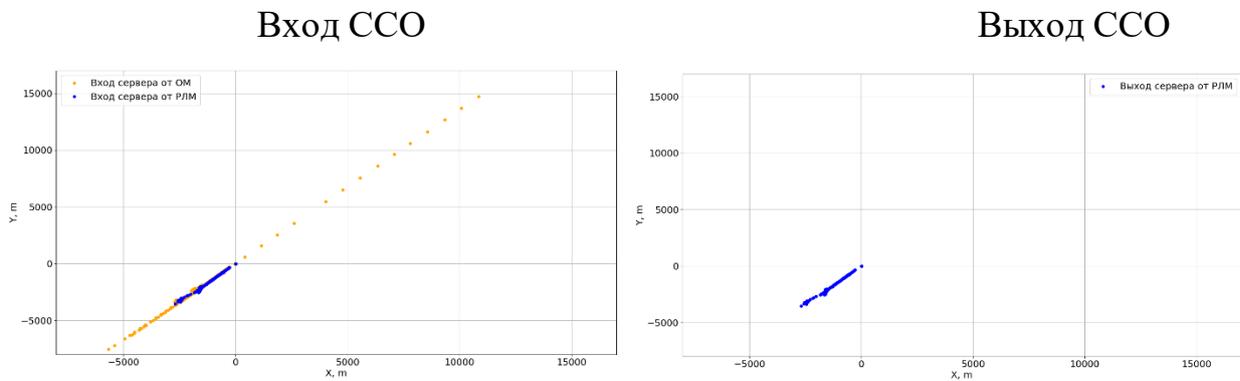


Рисунок 6.21 – Трассовая обстановка № 2

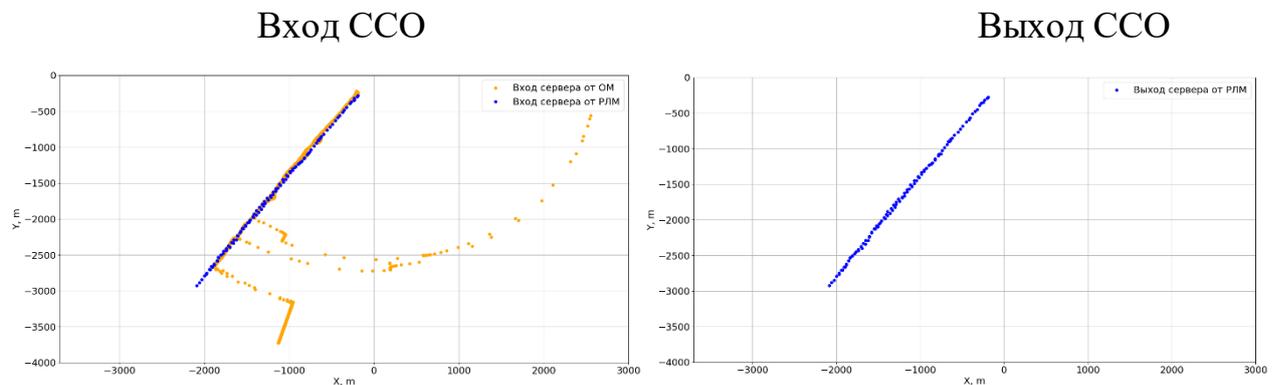


Рисунок 6.22 – Трассовая обстановка № 3

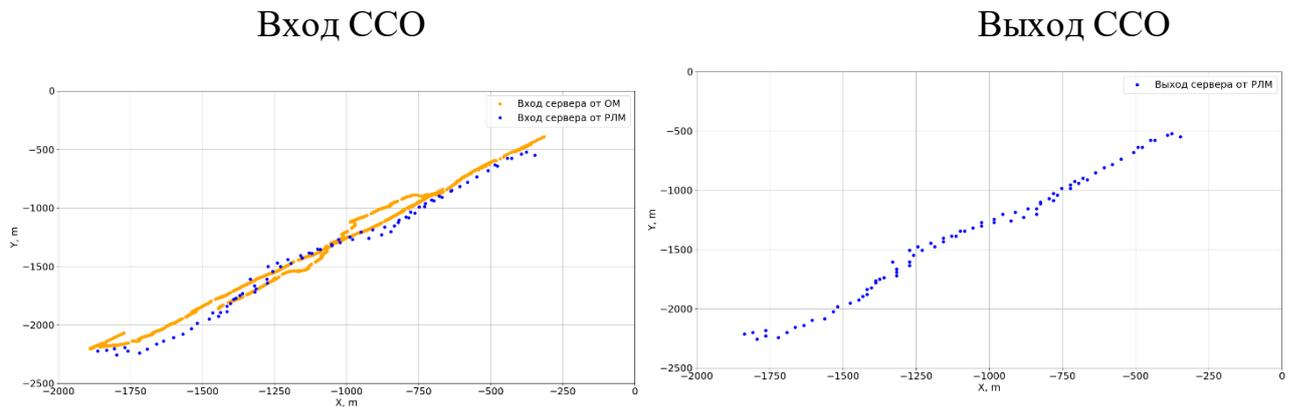


Рисунок 6.23 – Трассовая обстановка № 4

Объединение разнородной информации в ситуации трассовой обстановки № 1 происходило по приоритету сначала оптического, потом радиолокационного модуля. В ситуациях трассовой обстановки №№ 2, 3, 4 был установлен более высокий приоритет радиолокационного модуля, как выдающего информацию более равномерно и непрерывно. Из представленных экспериментальных данных видно, что на выходе сервера сетевой обработки в результате объединения информация получается более равномерной и непрерывной, чем на входе при получении информации от двух модулей, что и является подтверждением использования координат о воздушном объекте от обоих источников, один из которых выдает достоверные координаты только по азимуту и углу места. Информация на выходе сервера сетевой обработки не сглаживалась в целях подробного изучения процесса объединения.

Система селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов

Для решения задачи селекции МБПЛА на фоне птиц также использовались алгоритмы трассовой обработки сетевой объединенной информации [84, 85, 167, 169, 205, 206].

В общем случае модель движения птицы можно представить как хаотичное движение в пространстве. Траектория птицы, в общем случае, состоит из большого числа маневров (участков, где меняется курс птицы), при этом участков траектории, на которых курс изменяется на большую величину меньше, чем участков, где курс изменяется более плавно. В результате проведенного анализа курс птицы

предполагается считать случайным процесс, подчиняющийся закону распределения Симпсона (треугольный закон распределения), а скорость птицы – случайный процесс, подчиняющийся нормальному распределению.

При построении модели движения МБПЛА предполагается, что МБПЛА имеет определенную цель полета, следовательно, его траектория по большей своей части состоит из участков прямолинейного движения, длительность которых много больше по сравнению с участками траекторией птицы. При этом учитывается, что при движении МБПЛА имеются флуктуации курса и скорости (например, вследствие ветра), однако предполагается, что модуль этих случайных отклонений меньше, чем для отклонений траекторий птиц.

Таким образом, в качестве селектирующего признака МБПЛА и птицы предлагается использовать количество маневров на некотором участке траектории.

При синтезе алгоритма определения маневра, будем исходить из того, что объект может совершать два типа маневра: «медленный маневр» – путь курс объекта плавно изменяется от начального до конечного состояния за несколько обзоров РЛС, «быстрый маневр» – путь курс изменяется от начального до конечного состояния за один обзор РЛС.

На рисунках 6.24, 6.25 показаны блок-схемы алгоритмов «быстрого маневра» и «медленного маневра».

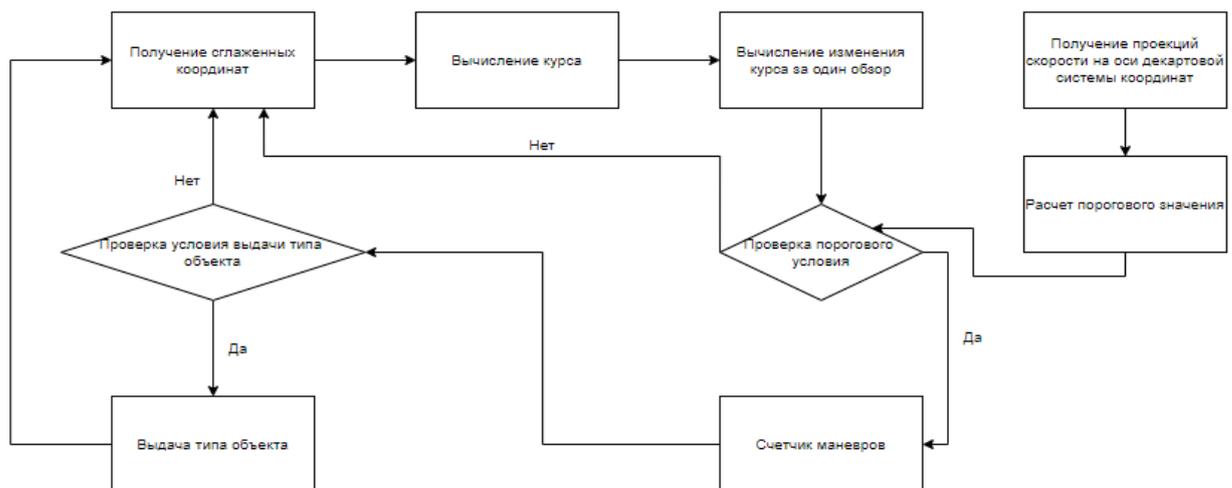


Рисунок 6.24 – Блок-схема алгоритма определения «быстрого маневра»

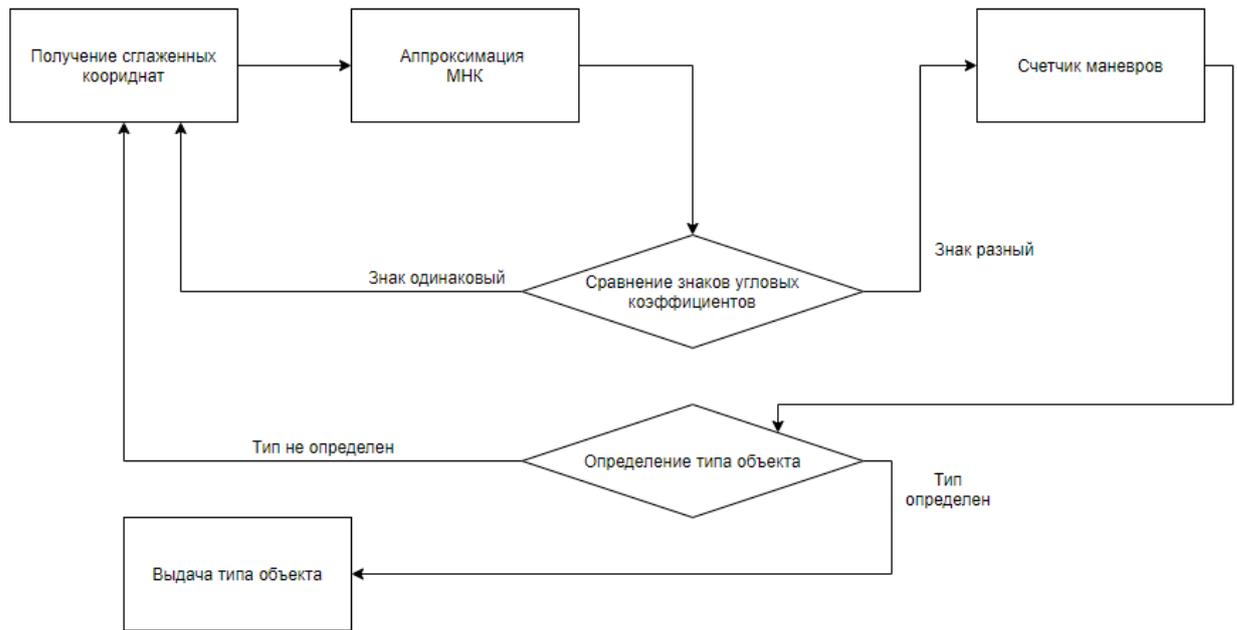


Рисунок 6.25 – Блок-схема алгоритма определения «медленного маневра»

На рисунках 6.26, 6.27 приведены результаты ряда натуральных экспериментов обработки сетевой объединенной информации системой селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов.

Количество обработанных трасс – 17, максимальная дальность ВО составляла 6 км, минимальная скорость ВО – 0.1 м/с, максимальная скорость ВО – 100 м/с.

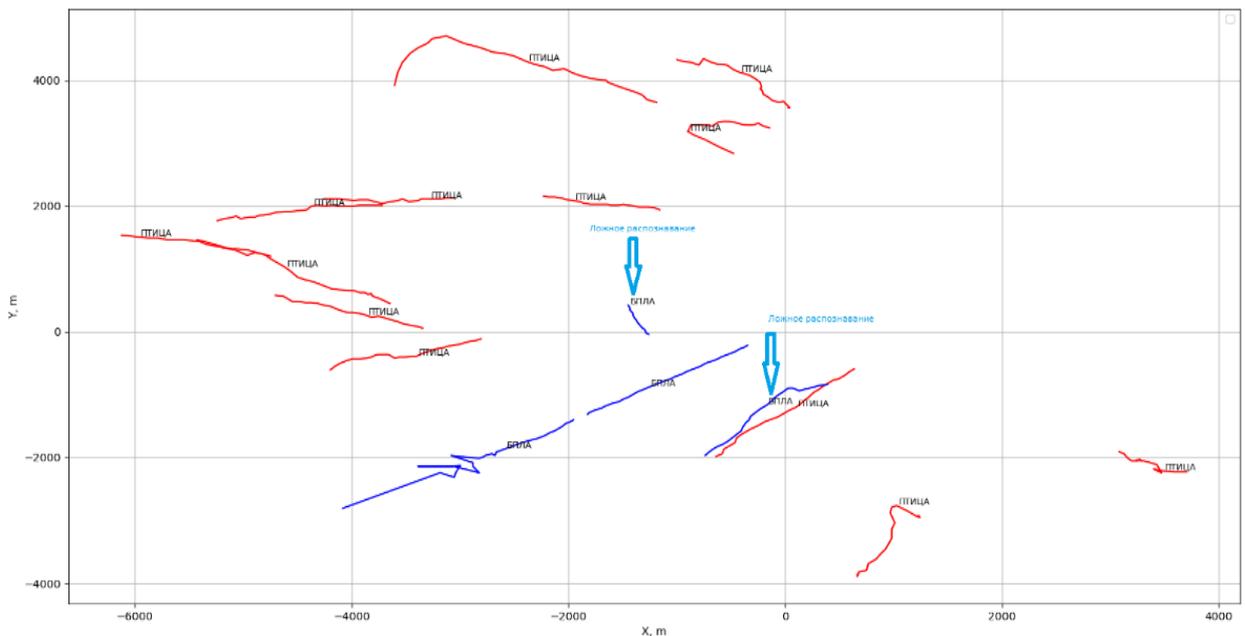


Рисунок 6.26. Результат обработки сетевой объединенной информации системой селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов (всего трасс: 17,

неверно распознанных: 2(показаны стрелками),

верно распознанных: 15)

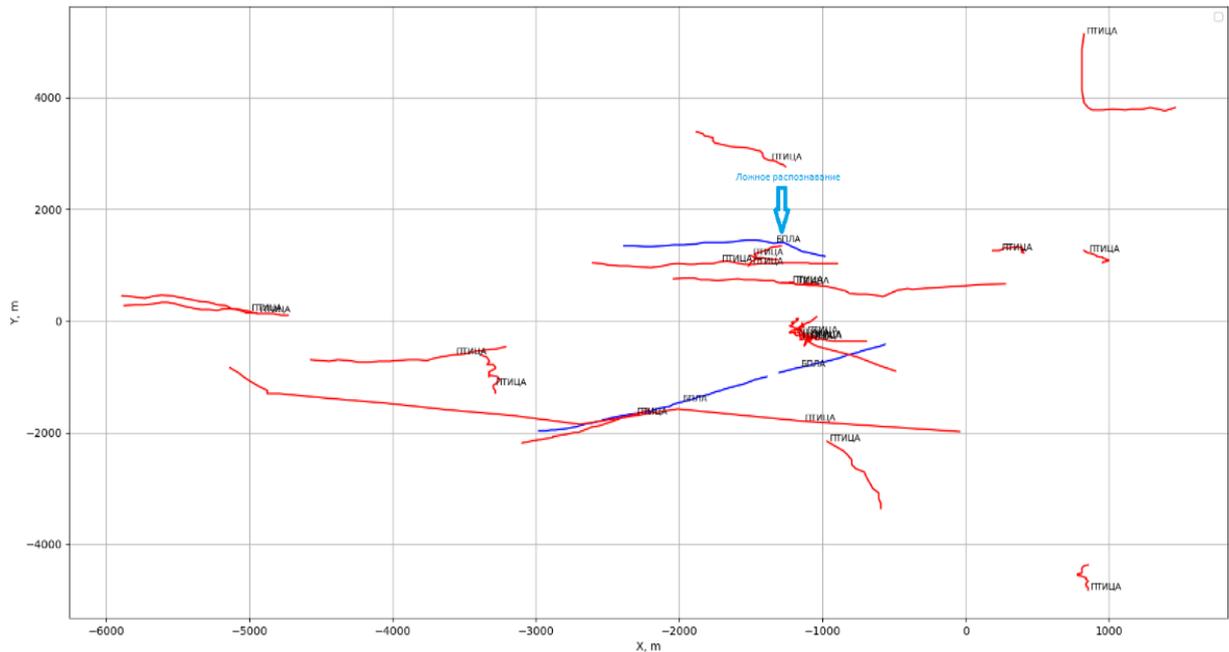


Рисунок 6.27. Результат обработки сетевой объединенной информации системой селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов (всего трасс: 25, неверно распознанных: 1, верно распознанных: 24)

Средняя вероятность правильной селекции (распознавания) по результатам обработки составила не ниже 0,7.

При проведении обработки экспериментальных данных было выяснено, что с целью наиболее полного использования возможностей алгоритмов сетевой обработки, необходимо выполнение определенных требования к первичной и вторичной обработке (трассам от источников). Основными из них являются: наличие времени локации по каждому сообщению; автоматический алгоритм определения и пересчета мест стояния источников; выдача значений ЭПР объектов от радиолокационного модуля; сглажена или нет радиолокационная информация по трассам; управление алгоритмами сглаживания на РЛС со стороны сервера сетевой обработки, применение новых способов обработки сигналов [7], и ряд других.

Выводы по разделу 6

1. Разработана имитационная модель процесса обработки РЛИ на сервере

информационной системы сетевой структуры, базирующейся на сетевых принципах. Результаты математического моделирования синтезированного алгоритма обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, подтвердили работоспособность разработанной системы обработки РЛИ на сервере. Показано, что количество ВО, заданное в рамках исследования (1000), может при необходимости значительно увеличиваться. Среднее время обработки РЛИ по результатам моделирования составило 123 мкс. Это время существенно меньше времени обработки в существующих КСА и меньше минимального значения истинного времени локализации в кодограмме протокола Asterix. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения разработанного метода и реализующего его алгоритма обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры. При этом обеспечивается обмен РЛИ между источниками и потребителями в режиме времени, близком к реальному.

2. Обработка траекторий воздушных объектов, движущихся с маневром, на скоростях до 3000 м/с осуществляется корректно, с непрерывной передачей объектов от источника к источнику, с одновременным объединением сообщений о ВО от разных источников. Если скорость объектов выше указанной и объекты осуществляют маневр, то, вследствие предположения о равномерности и прямолинейности движения при экстраполяции, в алгоритме объединения происходит выход из строя точного отбора и объединения сообщений от разных источников не происходит. В этом случае показан один из возможных путей решения проблемы – увеличение строба точного отбора по сравнению с расчетным. Другие способы решения указанной непопадания в строб точного отбора – это принятие непрямолинейного движения в алгоритме объединения, и следовательно, хранение нескольких предыдущих сообщений по воздушному объекту; и следующее – обработка сообщений о ВО, движущихся с высокой скоростью, вообще без объединения, возможно, с применением алгоритма агрегирования.

3. Алгоритм сетевой обработки позволяет объединять информацию от разнородных источников по неполным данным. В приведенном примере отсутствовало достоверное измерение дальности от оптического модуля, которое замещалось экстраполированным значением дальности от радиолокационного модуля.

4. Показана возможность селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов на основе обработки сетевой объединенной траекторной информации. Приведен пример распознавания воздушных объектов с использованием алгоритма сетевой обработки и системы селекции МБПЛА на фоне птиц. Распознавание осуществлялось с вероятностью 0,7.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Краткий анализ концепции «сетевых войн» показывает, что концепция принята в качестве программ реформирования национальных вооруженных сил в большинстве стран-участников НАТО и в качестве общей программы развития объединенных вооруженных сил альянса. Способы построения единого информационного поля в масштабах национальных вооруженных сил включают принятие общих программ: по унификации протоколов информационного обмена; определению состава объектов, подлежащих переводу в категорию «дейтацентрических» с последующей разработкой соответствующих аппаратно-программных средств; разработку приложений, выполняющих задачу поиска необходимой информации в сетевой среде; разработку ПО «промежуточного слоя», позволяющего включать образованные «дейтацентрические» объекты в сетевую среду.

2. Анализ возможностей ОАЦСС ВС РФ показал, что в ближайшей перспективе построение сетевой структуры обмена информацией в России возможно на её основе.

3. Сформулированы понятия логических и физических уровней информационной системы, сетевой обработки и времени нахождения информации в информационной системе.

4. В целях наиболее полного использования свойств локационной информации (обновляемость, непрерывность, достоверность) построение перспективной информационной системы должно осуществляться с разделением функции обработки информации и функции управления. Часть функций обработки может быть перенесена в саму информационную систему. Кроме того, перспективная информационная система должна обладать свойством одновременного функционирования с существующей информационной системой иерархической структуры.

5. Для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы – способности адекватного отображения воздушной обстановки введен интегральный показатель информационных потерь. В состав интегрального показателя, в свою очередь, введен обобщенный показатель потерь вследствие времени нахождения (времени задержки) радиолокационной информации в системе. Минимизация

этого обобщенного показателя по критерию времени нахождения информации в информационной подсистеме, и, как следствие, максимизация эффективности радиолокационной системы в целом, как целевой функции, является одной из основных задач исследования.

6. На основе метода сквозного синтеза разработана структура исследования. Одним из основных этапов является этап синтеза общего решения, на котором методом структурно-параметрического синтеза определена последовательность решения задачи построения информационной системы сетевой структуры.

7. В результате анализа уровней и структур построения информационных систем определен уровень и введена новая система – автоматизированная система обработки и обмена информацией (АСООИ), как подсистема АСУ. Определены функции новой системы и свойства, необходимые для её функционирования.

8. Основой информационной системы сетевой структуры являются серверы, на которых размещается программное обеспечение, осуществляющее сбор, обработку и обмен РЛИ. Для реализации ПО необходима разработка алгоритмов объединения РЛИ при вводе в систему и при реализации обмена РЛИ в системе.

9. На основе феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями разработана «комбинированная» схема подключения вновь введенной подсистемы АСООИ к существующей системе автоматизированного управления иерархической структуры. Схема подключения серверов в сетевую информационную структуру защищена патентом на полезную модель.

10. Разработана схема системы автоматизированного управления для обеспечения сбора, обработки и обмена РЛИ с новыми свойствами – свойствами сетевой структуры. Эти свойства способны обеспечить существенное сокращение времени доставки РЛИ потребителям, ситуационную осведомленность всех потребителей, а также ряд синергетических эффектов.

11. Разработан и запатентован метод обработки РЛИ на сервере информа-

ционной системы полносвязной сетевой структуры. Последовательность этапов обработки и правил определения критериев как способ обработки РЛИ в сетевой информационной структуре защищена патентом на изобретение.

12. Разработана методика предварительного отбора РЛИ, в которой вводится адаптивный строб предварительного отбора, зависящий от скорости ВО и СКО РЛС, осуществляющей наблюдение. Предложенный подход к расчету размера стога предварительного отбора позволяет: уменьшить размеры области, в которую попадают сообщения о ВО, подлежащие дальнейшей попарной проверке на принадлежность к одному ВО; формировать адаптивный строб предварительного отбора ВО по скорости для каждого сообщения о ВО, поступающего на сервер; сократить время обработки РЛИ за счет уменьшения числа пар ВО, участвующих в объединении РЛИ.

13. Получены математические выражения для оценки вероятностных параметров объединения радиолокационной информации от некогерентных и пространственно-разнесенных источников в зависимости от модуля разности координат и составляющих скоростей ВО. Данные выражения получены с учетом ряда условий, а именно: объединение осуществляется в узле информационной системы сетевой структуры; для объединения применяется алгоритм сетевой обработки, который в силу особенностей своего построения допускает обработку только одного ветвящегося решения – одного сообщения о воздушном объекте. При оценке вероятностных параметров объединения РЛИ не учитываются систематические и случайные ошибки и погрешности, имеющиеся в исходной информации от источников и в предшествующих объединению этапам алгоритма сетевой обработки.

14. Показано, что при выполнении определенных условий и допущений вероятность объединения информации одинакова для каждого поступившего сообщения о воздушном объекте, не зависит от продолжительности циклов обработки в узле информационной системы, от количества обрабатываемых измерений, загрузки каналов передачи данных и т.п., в отличие от традиционных алгоритмов обработки. Полученные выражения для расчета вероятности точного отбора могут быть использованы при построении математических моделей функционирования и

оценки вероятностных параметров объединения РЛИ как в узлах информационных систем сетевой структуры (пунктов сбора и обработки информации), так и для оценки достоверности информации в информационных системах в целом.

15. Вычисление размеров строга точного отбора по заданной вероятности объединения информации является решением обратной задачи при использовании алгоритма сетевой обработки. Уменьшение размеров строга точного отбора по сравнению с традиционным алгоритмом позволяет уменьшить количество вычислений при последующем попарном сравнении сообщений, тем самым сократить время обработки радиолокационной информации в информационной системе и, в конечном итоге, повысить своевременность и достоверность информации, передаваемой потребителям.

16. Разработана методика объединения РЛИ при обработке на сервере, которая позволяет решить задачу объединения РЛИ о ВО на сервере информационной системы сетевой структуры. Эта методика имеет ряд отличий от существующей методики, принятой в третичной обработке: предварительный отбор проводится до экстраполяции; пары сообщений сравниваются не периодически, а в момент поступления нового сообщения о ВО; после экстраполяции вводится этап точного отбора, который учитывает требуемую потребителем вероятность объединения.

17. Использование разработанной методики объединения РЛИ позволяет отобрать для конечного этапа объединения минимальное число ВО, что существенно снижает время обработки данных на сервере и обеспечивает доставку РЛИ потребителям в реальном масштабе времени. Процесс объединения приобретает динамический характер за счет возможности изменения потребителем требуемой вероятности объединения на этапе точного отбора.

18. На основе метода сетевой обработки разработан алгоритм обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры. Алгоритм позволяет существенно сократить время доведения РЛИ от источников до потребителей, а также обеспечивает возможность получения требуемой РЛИ любым вновь подключенным к серверу потребителем и возможность выдачи РЛИ в сетевую структуру

любым вновь подключенным источником.

19. Разработаны алгоритмы обработки сообщений о воздушных объектах, поступающих на сервер информационной системы сетевой структуры и содержащих РЛИ с различными признаками. Методика обработки сообщений о ВО с признаком «Новая трасса» позволяет осуществлять обработку РЛИ на сервере с использованием алгоритма объединения. Алгоритмы обработки кодограмм ВО, поступающих на сервер и содержащих РЛИ с признаком «Обновление» и признаком «Обновление» при выходе из строя канала связи не предполагают применения алгоритма объединения, что существенно сокращает время обработки, обновления и восстановления РЛИ на сервере.

20. Разработан алгоритм отбора РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры для выдачи потребителю, которая позволяет на основе заявок потребителей формировать массивы данных в виде матриц, содержащие обработанную РЛИ, поступающую от источников и передавать потребителям эти массивы в реальном масштабе времени.

21. В целом разработан математический аппарат обработки РЛИ на основе теории матричной алгебры, позволяющий обеспечить сбор, хранение, обработку, обновление РЛИ по различным признакам, выдачу потребителям РЛИ с требуемыми потребителями значениями вероятности объединения, темпа обновления и другими характеристиками. Локационные данные в информационной системе представлены в виде однородного динамического массива, формирование и обновление которого обеспечивается распределенным векторным вычислителем, элементы которого расположены в узлах информационной системы. Функционал векторного вычислителя составляет совокупность методов и реализованных на их основе алгоритмов обработки и обмена локационной информации. Синхронизация массива и обработка локационной информации производится в соответствии с данными системы единого времени, вносимыми в каждое сообщение в виде времени локации.

22. Математический аппарат, разработанный на основе теории матриц,

позволяет обрабатывать большое количество данных о ВО (порядка нескольких десятков тысяч трасс) на сервере, не прибегая к поэлементному перебору значений данных о ВО в массивах. Проведено сравнительное математическое моделирование процессов обработки РЛИ методами поэлементного перебора и матричной замены. Выявлено преимущество метода матричной замены во времени обработки при наличии в обработке сообщений (трасс) об объектах свыше 1000.

23. В информационной системе сетевой структуры могут быть применены новые методы обработки информации, такие, как метод агрегирования. Этот метод реализуется встраиванием в специальное программное обеспечение серверов сети.

24. Для обеспечения обмена информацией в информационной системе разработаны алгоритмы системного уровня, позволяющие оптимизировать объем информации, циркулирующей в сети, а также автоматически восстанавливать обмен по обходным маршрутам в случаях нарушений связи.

25. Оценена пропускная способность каналов передачи данных в информационной системе на основе информационно-энтропийного подхода. Полученные результаты показывают, что для РЛС метрового диапазона пропускная способность составляет 29-38 Мбит/с, что практически очень близко к реальным значениям – 25-28 Мбит/с. Расчеты показывают, что современная пропускная способность каналов передачи данных в информационной системе сетевой структуры находится в пределах технически достижимой. На основе энтропийного подхода можно оценивать свойства информационных систем различного типа структур и разрабатывать более подробные модели информационных систем для расчета оценки их эффективности.

26. На основе эксперимента получены количественные оценки времени задержки информации при передаче РЛИ по низкоскоростным каналам связи с использованием алгоритма «Аккорд-СС-ПД». Задержка выдачи РЛИ в канал связи может проявляться при условии расположения 60-70 ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС. Она может находиться в пределах от нескольких десятков мс до 7,5 с и соответствует распределению Пуассона. Практическое построение информационной системы сетевой структуры должно обеспечить нормальное распределение

на её входе и выходе, не допустить перехода нормального распределения в пуассоновское и тем самым нарушить функционирование системы, основанной на критерии минимизации времени нахождения информации в ней. Оценка времени задержки кодограмм позволяет сделать вывод о необходимости передачи РЛИ в звене РЛС-КСА в более широкополосном канале связи, а также о необходимости включения времени локации в состав кодограмм протокола Asterix после обработки РЛИ на сервере.

27. Разработаны рекомендации по построению терминала обработки РЛИ и его применению в качестве базовой ячейки информационной системы сетевой структуры. Они предполагают, что, во-первых, построение информационной структуры сетевой структуры должно осуществляться на основе терминалов обработки РЛИ, размещаемых в функционально однородных (дейтацентрических) группах потребителей и источников; во-вторых, функции сопряжения существующих КСА, источников и потребителей и функции подключения их в сетевую структуру могут быть обеспечены шлюзами телекодовой и речевой информации из состава терминалов; в третьих, терминалы обработки РЛИ могут размещаться на РЛС или КСА, при этом для одной функционально однородной группы достаточно одного терминала.

28. В настоящее время имеется возможность минимизировать технологические решения при построении структуры специализированной системы обработки и обмена информации. Основными технологиями при построении структуры являются освоенные отечественной промышленностью и разработчиками сочетание технологий, стандартов и протоколов, принадлежащим различным уровням моделей OSI и TCP/IP: DSL, IEEE 802.3, PDH (E1) и SDH (STM). Организационно и технически на этапе построения специализированной системы возможно обеспечить её «закрытость» и изолированность от сетей общего пользования, массово применить относительно недорогое отечественное оборудование, что является решением вопроса импортозамещения в современных условиях.

29. Разработана имитационная модель процесса обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, базирующейся на сетевых центрических

принципах. Результаты математического моделирования синтезированного алгоритма обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, подтвердили работоспособность разработанной системы обработки РЛИ на сервере. Показано, что количество ВО, заданное в рамках исследования (1000), может при необходимости значительно увеличиваться. Среднее время обработки РЛИ по результатам моделирования составило 123 мкс. Это время существенно меньше времени обработки в существующих КСА и меньше минимального значения истинного времени локации в кодограмме протокола Asterix. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения разработанного метода и реализующего его алгоритма обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры. При этом обеспечивается обмен РЛИ между источниками и потребителями в режиме времени, близком к реальному.

30. Обработка траекторий воздушных объектов, движущихся с маневром, на скоростях до 3000 м/с осуществляется корректно, с непрерывной передачей объектов от источника к источнику, с одновременным объединением сообщений о ВО от разных источников. Если скорость объектов выше указанной и объекты осуществляют маневр, то, вследствие предположения о равномерности и прямолинейности движения при экстраполяции, в алгоритме объединения происходит выход из строя точного отбора и объединения сообщений от разных источников не происходит. В этом случае показан один из возможных путей решения проблемы – увеличение строя точного отбора по сравнению с расчетным. Другие способы решения указанной непопадания в строй точного отбора – это принятие непрямолинейного движения в алгоритме объединения, и следовательно, хранение нескольких предыдущих сообщений по воздушному объекту; и следующее – обработка сообщений о ВО, движущихся с высокой скоростью, вообще без объединения, возможно, с применением алгоритма агрегирования.

31. Алгоритм сетевой обработки позволяет объединять информацию от разнородных источников по неполным данным. В приведенном примере отсутствовало достоверное измерение дальности от оптического модуля, которое замещалось экстраполированным значением дальности от радиолокационного модуля.

32. Показана возможность селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов на основе обработки сетевой объединенной траекторной информации. Приведен пример распознавания воздушных объектов с использованием алгоритма сетевой обработки и системы селекции МБПЛА на фоне птиц. Распознавание осуществлялось с вероятностью 0,7.

Впервые осуществлено построение варианта информационной системы полносвязной сетевой структуры на основе разработанных методов, алгоритмов, способов подключения источников и потребителей локационной информации. Разработанная информационная система является подсистемой по отношению к автоматизированной системе управления и представляет собой сеть с распределенным векторным вычислителем, формирующим однородный динамический массив локационной информации. Функциональность векторного вычислителя реализуется на основе совокупности разработанных методов и алгоритмов обработки и обмена локационной информации.

Таким образом, в диссертационном исследовании разработана методология построения информационной системы полносвязной сетевой структуры, предназначенной для сбора, обработки и обмена радиолокационной и разнородной локационной информацией. Методология включает совокупность методов и алгоритмов обработки информации, способов, вариантов и этапов построения системы. В целом показан системный характер задач и проблем, необходимых для построения единого информационного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Кислуха, С. Скварник Комплексное решение задач радиолокационной разведки / [http:// www.vko.ru/koncepcii/kompleksnoe-reshenie-zadach-radiolokacionnoy-razvedki](http://www.vko.ru/koncepcii/kompleksnoe-reshenie-zadach-radiolokacionnoy-razvedki)] 20/03/21).
2. Кобан А.Я, Самотонин Д.Н. Научно-технические проблемы развития федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства российской федерации и пути их решения/ М: Военная мысль, № 4 2017 С.14-18.
3. Хашагульгов Р.А., Ходор М.А. Частная авиация – новая угроза безопасности воздушного движения в России // Научные исследования в космических исследованиях Земли, Том 7, 2015. № 3.С. 22–26.
4. Образцов Е.А., Пушков О.В. Маловысотные РЛС: шаг за шагом // Воздушно-космическая оборона.2012. № 4.С. 45–48.
5. Друзин С.В. Основные направления развития радиолокационных систем // Вестник «Концерн ПВО «Алмаз-Антей». 2014. № 2. С. 4–10.
6. Фитасов Е.С. Пространственно-временная обработка сигналов в малобаритных мобильных радиолокационных системах обнаружения низколетящих воздушных объектов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2018. – 378 с.
7. Пальгуев Д.А. Экспериментальная оценка проекционного метода доплеровской фильтрации радиолокационных сигналов при обнаружении воздушных объектов с малыми радиальными скоростями / Фитасов Е.С., Леговцова Е.В., Д.А. Пальгуев, С.А. Козлов, А.Г. Саберов, А.Б. Борзов / Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Т.64 № 4, 2021 г., с. 331-340
8. Бугров Н.И. Маловысотная радиолокация. М.: Воениздат, 1977. – 128 с.
9. Залепа В.А. Борьба с низколетящими целями. М.: Воениздат, 1966. – 64 с.
10. А. Кислуха / К единому радиолокационному полю страны (1) / <http://www.vko.ru/koncepcii/k-edinomu-radiolokacionnomu-polyu-strany-1> 20/03/21
11. Г.П. Бендерский 25 лет федеральной системе разведки и контроля Российской Федерации: этапы становления и развития / Вестник Концерн ПВО «Алмаз-Антей», № 1 2019 [https:// cyberleninka.ru/article/n/25-let-federalnoy-sisteme-razvedki](https://cyberleninka.ru/article/n/25-let-federalnoy-sisteme-razvedki)

i-kontrolya-vozdushnogo-prostranstva-rossiyskoy-federatsii-etapy-stanovleniya-i-razvitiya/viewer 20.03.21

12. Созыкин А.Г. Состояние и направления развития федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации /М: Военная мысль № 2 2021 с.78-90

13. Азов, В. О реализации в США концепции ведения военных действий в едином информационном пространстве /В. Азов // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – № 6.

14. Балахонцев, Н. Влияние концепции «сетевая война» на эффективность разведывательного обеспечения вооруженных сил США / Н. Балахонцев, А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2011. – № 2.

15. Баулин, В. Реализация концепции «Сетевая война» в ВМС США / В. Баулин, А. Кондратьев// Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5.

16. Буряков, В.А. Организация и научно-технический базис сетевых войн/ В.А. Буряков // Военный парад. – 2010. – № 1.

17. Буренок, В.М. Курс – на сетевую систему вооружения/В.М. Буренок, А.Ю. Кравченко, С.С. Смирнов // ВКО. –2009. – № 5 (48).

18. Верба, В.С. Организация информационного обмена в сетевых боевых операциях / В.С. Верба, С.С. Поливанов // Радиотехника. – 2009. – № 8.

19. Волков, С. Средство ведения военных действий / С. Волков // ВКО. –2009. – № 2 (45).

20. Евдаков, В.И. Взгляды на применение вооруженных сил США в войнах начала XXI века / В.И. Евдаков, В.Б. Домрачев// Вестник АВН. – 2008. – № 2.

21. Гаврилов, А.А. Автоматизированная система сбора, обработки и распределения разведывательной информации СВ США DCGS /А.А. Гаврилов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7.

22. Заповев, С. Задачи разведывательного обеспечения операций и боевых действий СВ США в современных войнах и вооруженных конфликтах / С. Заповев // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 2.

23. Заповев, С. Развитие систем сбора, обработки, анализа и распределения

разведывательной информации в Сухопутных войсках США / С.Заполев // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 1.

24. Колесов, П. Ведение Соединенными Штатами информационных войн. Концепция «Стратегических Коммуникаций»/П.Колесов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 6.

25. Кондратьев, А. Исследования «сетевых» концепций в вооруженных силах ведущих зарубежных стран / А. Кондратьев// Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 12.

26. Кондратьев, А. Некоторые особенности реализации концепции «сетевая война» в вооруженных силах КНР / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 3.

27. Кондратьев, А. Совершенствование информационно-аналитической деятельности разведывательного сообщества США / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 12.

28. Кондратьев, А. Создание единой системы разведки Европейского союза/А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 8.

29. Корниенко, В.В. Обмен информацией между разнородными объектами АСУ воздушно-космической обороны / В.В. Корниенко, Е.В. Кольцов, Д.М. Фомин // Вопросы радиоэлектроники, серия СОИУ. – 2008. – В.1.

30. Кузнецов, В.Е. Единое информационное пространство / В.Е.Кузнецов // ВРЭ, серия ЭВТ. – 2003. – В.1.

31. Морозов, И. Успешность решения стоящих перед вооруженными силами задач радикально зависит от возможности добывать и доставлять потребителю требуемую информацию / И. Морозов, С. Баушев // ВКО. –2009. – № 5 (48).

32. Паршин, С. Современные тенденции в совершенствовании системы управления вооруженными силами ведущих зарубежных стран в информационную эпоху / С. Паршин, Ю. Кожанов //Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 7.

33. Паршин, С. Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общие и различия / С.Паршин, Ю. Кожанов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 4.

34. Фомин, М.Д. О проблемах управления информационными процессами в АСУ войсковой ПВО / М.Д. Фомин, О.В. Рогожина // ВРЭ, серия СОИУ. – 2009. – В. 1.
35. Фомин, М.Д. Сетецентрическое управление как закономерный процесс развития автоматизированных систем / М.Д. Фомин, М.Н. Кумакшев, А.Н. Мильченко // ВРЭ, серия ЭВТ. – 2009. – В. 4.
36. Хамзатов, М.М. Влияние концепции сетецентрической войны на характер современных операций /М.М.Хамзатов // Военная мысль. – 2006. – № 7.
37. Чельцов, Б. Борьба за информацию на основе информации /Б. Чельцов, И. Замалтдинов, С. Волков // Воздушно-Космическая Оборона. – 2009. – № 3 (46).
38. Чельцов,Б. Сетевые войны XXI века / Б. Чельцов, С. Волков // Воздушно-космическая Оборона. – 2008. – № 4.
39. Шеремет, И. Боевые робототехнические группировки– новая реальность войн XXI века / И. Шеремет // Национальная оборона. – 2006. – № 3.
40. Щукин, М. Разведывательное обеспечение боевых действий Сухопутных войск США в городских условиях / М. Щукин, А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – ч. 2. –№ 9.
41. Агаджанян М. Концепция сетецентричных войн как революция в военном деле. [Фонд НОРАВАНК]. – URL: http://www.noravank.am /rus /issues/detail.php?ELEMENT_ID = 2574
42. Верба, В.С. Теория синтеза и анализа систем радиоуправления. Авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения как элемент сетецентрической информационно-управляющей системы / В.С. Верба // Радиотехника. – 2008. – № 9.
43. Бендерский, Г. Средство автоматизации дежурного режима/ Г. Бендерский, В. Кореньков // Воздушно-космическая оборона. – 2009. – № 2 (45).
44. Попов, И.М. «Сетецентрическая война»: готова ли к ней Россия? / И.М. Попов // Советская Россия. – 2009.
45. США и Канада договорились модернизировать NORAD / <http://yandex.ru/turbo/ria.ru/s/20210224/norad-1598704091.html>. (24.02.2021)

46. Семенов С.А. Агрегирование информации о воздушной обстановке / Бреслер И.Б., Корниенков В.В., Семенов С.А., Тихомиров В.А., Фомин М.Д. // Монография. – Тверь. Военная академия ВКО им. маршала Г.К. Жукова – 2008. – 136 с.

47. Семенов С.А. Агрегирование радиолокационных систем и информации о воздушно-космической обстановке / Аксенов О.Ю., Кобан А.Я., Мельник Д.И., Семенов С.А., Семенов В.С. // Монография. – М.: Знание, 2018. - 273 с.

48. Бреслер И.Б., Кореньков В.М., Семенов С.А., Пильщиков Д.Е. «Подход к агрегированию данных о высокодинамичных групповых объектах в информационной системе с ограниченными возможностями» Статья. Журнал «Вестник ТГУ». Серия «Прикладная математика». № 4 (21), Выпуск 3, Тверь, 2006.

49. Конторов Д.С. Введение в радиолокационную системотехнику / Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. // – М.: Советское радио, 1971 – 368 с.

50. Воинов Б.С. Информационные технологии и системы / Монография, книга I Методология синтеза новых решений / Н. Новгород: изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2001. – 404 с.

51. Воинов Б.С., Бугров В.Н., Воинов Б.Б. Информационные технологии и системы: поиск оптимальных, оригинальных и оптимальных решений / М. Наука, 2007 – 730 с.

52. Воинов Б.С., Бугров В.Н., Воинов Б.Б., Информационные технологии и системы. Поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений // М.: Наука, Электронная монография / [http: litgu.ru/knigi/nauka_ucheba/19379-informacionnyye-tehnologii-i-sistemy-poisk-optimalnyh-originalnyh-i-racionalnyh-resheniy.html](http://litgu.ru/knigi/nauka_ucheba/19379-informacionnyye-tehnologii-i-sistemy-poisk-optimalnyh-originalnyh-i-racionalnyh-resheniy.html). – 731 с.

53. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш. шк., 2004 —616 с: ил.

54. Обухов А.Д., Краснянский М.Н., Структурно-параметрический синтез адаптивных информационных систем на основе нейросетевых методов и архитектуры / Монография / Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 240

с.

55. Певнева А.Г., Калинкина М.Е. Методы оптимизации // СПб: Университет ИТМО, 2020. – 64 с.

56. Денисов А.А. Системы, превосходящие исследователя по совершенству. // IV международная конференция по проблемам управления: Сборник трудов. – М., Учреждение РАН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. – С. 1356-1363.

57. Хант, Гордон. Real-Time Innovations. Реализация систем для ведения «сетцентрических» (Net-Centric) войн / Гордон Хант // ВКТ для оборонных приложений: компоненты и системы, МКА мир ВК1. – 2007. – № 6.

58. Поярков Б., Юрин Ю. Многофункциональная система оружия "Иджис". [Армейский вестник]. – URL: <http://army-news.ru/amerikanskie-esmincy>.

59. Kopp C. Network Centric Warfare Defence. Dr Carlo Kopp. TODAY magazine, August 2003. [Австралия_авиация]. – URL: <http://www.ausairpower.net/new.pdf>.

60. Фомин, М.Д. Состояние средств автоматизации и пути их совершенствования в интересах построения систем сетецентрического управления / М.Д. Фомин, М.Н. Кумакшев, А.Н. Мильченко // ВРЭ, серия ЭВТ. – 2009. – В.4.

61. Кондратьев, А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 1 (778).

62. Фомин, М.Д. Методический аппарат оценки пропускной способности технических систем сетецентрического управления / М.Д. Фомин, А.П. Писемский // ВРЭ, серия СОИУ. – 2010. – В. 1.

63. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб. Питер, 2003 – 877 с.

64. Информационная внедренческая компания. [ИВК]. – URL: <http://www.ivk.ru>.

65. ПО промежуточного слоя. [Interface]. – URL: <http://www.interface.ru/fset.asp?sybase/middle.htm>.

66. Минобороны обещает армии переход на цифру. [Свободная пресса].– URL: [http://svpressa.ru/society/article/12385/НПО Стрела и спецтехнологии \(1 разд.\)](http://svpressa.ru/society/article/12385/НПО_Стрела_и_спецтехнологии_(1_разд.))

67. Арсланов, Х.А. Перспективы развития войск связи. [http://federalbook.ru/files/SVAYZ/saderzhanie/Tom %2012/ IV / Arslanov.pdf](http://federalbook.ru/files/SVAYZ/saderzhanie/Tom%2012/IV/Arslanov.pdf).

68. Арсланов, Х.А. Концептуальные основы развития Объединённой цифровой автоматизированной системы связи Вооружённых Сил Российской Федерации / Арсланов Х.А., Абрамович А.В., Лихачев А.М. // Связь в Вооруженных Силах 2014 / <https://army.informost.ru/2014/pdf/1-04.pdf>.

69. Лихачев А.М. Концептуальные основы создания и развития автоматизированной системы управления ОАЦСС ВС РФ / Лихачев А.М., Абрамович А.В., Присяжнюк А.С. [Научно-технический журнал «Информация и Космос»] – 2016. – № 2. – URL: <http://infokosmo.ru>.

70. Пальгуев, Д.А. Концепция построения комплексов средств связи и передачи данных (КСС и ПД) РЛС и РЛК /Д.А. Пальгуев, Е.М. Маминов // Связь в Вооруженных Силах. Организации – для Войск связи. Часть 3. – 2008, С. 239.

71. Пальгуев, Д.А. Концепция построения комплексов средств связи и передачи данных в РЛС / Д.А. Пальгуев, Е.М. Маминов // Журнал «Радиопромышленность». – 2008. – № 2 – С. 77-83.

72. Пальгуев Д.А. К вопросу о третичной обработке радиолокационной информации / Пальгуев Д.А, Шентябин А.Н., Борзов А.Б., Васильев Д.А., Морозов Н.С. // Вопросы радиоэлектроники, № 1, 2021. С. 21-29

73. Пальгуев Д.А. К вопросу оценки вероятности объединения радиолокационной информации при третичной обработке в сетевых структурах/ Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин/ Журнал «Радиопромышленность», Т. 30, № 2, 2020 С. 32-41

74. Пальгуев Д.А. Вероятностные параметры объединения информации радиолокационных измерений от пространственно-разнесенных источников / Д.А. Пальгуев, Е.С. Фитасов, А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, Д.А. Васильев / Журнал РТС, раздел «Радиотехнические и телекоммуникационные системы», № 2, 2020, С. 14-23 ISSN 2221-2574

75. Пальгуев Д.А., Применение матриц при обработке массивов динамически изменяющихся данных / Д.А. Пальгуев, В.Ю. Семенов/ Вестник Поволжского государственного технологического университета, Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, № 2 (46), 2020, С. 31-43
76. Пальгуев Д.А. Матричный метод обработки массивов радиолокационных данных при третичной обработке/ Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин / Журнал «Радиопромышленность», Т. 30, № 3, 2020 С. 99-111
77. Пальгуев Д.А. Информационная подсистема сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией сетевой структуры / И.В. Грудинин, Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин / Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, 2020, № 675, С.243-253
78. Пальгуев Д.А. Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры / Журнал «Радиопромышленность» т.31 № 2 2021, С. 49-60
79. Пальгуев Д.А. Сравнительный анализ пропускной способности комплексов громкоговорящей и телефонной связи различной архитектуры в условиях максимальной нагрузки / Д.А. Пальгуев / Проектирование и технология электронных средств № 2, 2021, ISSN 2071-9809 С. 34-38
80. Пальгуев Д.А. Сравнительная оценка эффективности информационных систем иерархической и сетевой структуры на основе энтропийного подхода / Д.А. Пальгуев/ Журнал РТС, раздел «Радиотехнические и телекоммуникационные системы», № 1, 2020, С. 15-22 ISSN 2221-2574
81. Пальгуев Д.А. Система сбора, обработки и управления качеством информации сетевой структуры от пространственно разнесенных дискретных датчиков-измерителей о прогнозируемых процессах // Проектирование и технология электронных средств № 4, 2022, ISSN 2071-9809, С. 14-20.
82. Пальгуев Д.А. Структура специализированной системы обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева № 4 2022, с. 46-55

83. Пальгуев Д.А. Классификация специализированной автоматизированной системы обмена и обработки радиолокационной информации в соответствии с сетевыми моделями OSI и TCP/IP // Датчики и системы № 6 (265) 2022, С. 3-8.

84. Пальгуев Д.А. Особенности построения интегрированной цифровой телекоммуникационной сети обработки и обмена радиолокационной информации в едином информационном поле // Датчики и системы № 1 (266) 2023. С.4-10.

85. Пальгуев Д.А. Система распознавания малоразмерных малоскоростных воздушных объектов по объединенной разнородной информации и неполным данным от пространственно-разнесенных датчиков // Д. А. Пальгуев, Е. С. Фитасов, А. Д. Ильясафов / Датчики и системы № 1 (266) 2023. С. 16-22.

86. Пальгуев Д.А. Распознавание воздушных объектов типа «птицы» по траекторным признакам / Пальгуев Д.А., Пархачёв В.В., Пиунов К.Н., Савельев Д.В., Васильев Д.А.// Радиотехнические и телекоммуникационные системы № 4 2022, С. 39-50.

87. Пальгуев Д.А. Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры на этапе общего решения / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева № 4 (143) 2023 г., С. 27-35.

88. Пат. 125725 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Устройство обработки РЛИ в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А., Радаева А.С.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2012141982; заявл. 02.10.2012; опубл. 10.03.2013; Бюл. № 7.

89. Пат.102269 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Автоматизированная система передачи радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2010137263/09; заявл. 07.09.2010; опубл. 20.02.2011; Бюл. № 5.

90. Пат. 2461843 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А.; заявитель и патентообла-

датель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2011117435/07; заявл. 29.04.2011; опубл. 20.09.2012; Бюл. № 26.

91. Свид. 2015662779 РФ. Программный модуль сетевого шлюза / Кабаков А.В., Пальгуев Д.А.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015619268; опубл. 05.10.2015.

92. Свид. 2016618176 РФ. Программный модуль обнаружения радиолокационного комплекса / Михопаркина С.А., Пальгуев Д.А.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015615362; опубл. 25.05.2016

93. Пат. 135152 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01), G06F 13/00 (2006.01). Сервер сетевой информационной структуры / Пальгуев Д.А., Радаева А.С.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2013128672/08; заявл. 24.06.2013; опубл. 27.11.2013; Бюл. № 33.

94. Пат. 2543068 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Сетевая автоматизированная система передачи радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Панкратов С.И.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2013152838/07; заявл. 27.11.2013; опубл. 27.02.2015; Бюл. № 6.

95. Пат. 159704 РФ, МПК H04B 7/00 (2006.01). Мобильная узловая станция спутниковой связи для совместной работы в стандартах «Full mesh» TDMA и QPSK / Пальгуев Д.А., Борцов Е.Н.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015138336/07; заявл. 08.09.2015; опубл. 20.02.2016; Бюл. № 5.

96. Пат. 2645154 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ сетевой обработки информации в автоматизированной системе обработки и обмена радиолокационной информацией / Пальгуев Д.А., Фитасов А.В.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2016144929 заявл. 15.11.2016; опубл. 16.11.2018; Бюл. № 5.

97. Пат. 2594008 РФ, МПК H04B 7/12 (2006.1). Система частотно-временного разделения информационного ресурса / Пальгуев Д.А., Борцов Е.Н.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – №

2014118261/07; заявл. 06.05.2014; опубл. 10.08.2016; Бюл. № 22.

98. Свид. 2015662773 РФ. Программный модуль управления терминалом / Телешов Е.Н., Пальгуев Д.А.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015619236; опубл. 05.10.2015.

99. Свид. 2015662777 РФ. Программный модуль сервера обработки радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Радаева А.С., Краснова Е.И.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015619237; опубл. 05.10.2015.

100. Свид. 2015662778 РФ. Программный модуль дополнительной обработки радиолокационной информации / Борцов Е.Н., Пальгуев Д.А.; заявитель и патентообладатель Нижегородский научно-исслед. ин-т радиотехники – № 2015619246; опубл. 05.10.2015.

101. Свид. 2016660484 РФ. Универсальный кодограммный менеджер / Михопаркина С.А., Пальгуев Д.А. Заявка №2016615361 от 25.05.2016, опубл. 15.09.2016.

102. Пальгуев Д.А. Заявка на патент «Способ обработки разнородной информации с неполными данными в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления», рег. № 2023133506 от 17.12.2023 г.

103. Якубов, Т.Я. Мы всё разрабатываем сами / Т.Я. Якубов // Первая миля. –2011. – № 2 (23).

104. Drs. Varuch Awerbuch, Amitabh Mishra. Introduction to Ad hoc Networks CS-647: Advanced Topics in Wireless Networks // Department of Computer Science Johns Hopkins University: URL: http://www.cs.jhu.edu/~cs647/intro_adhoc.pdf (accessed: 20.04.2021).

105. Савин Л.В. Сетецентричная и сетевая война. Введение в концепцию. М.: Евразийское движение, 2011. – 130 с.

106. ГОСТ 20886-85. Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения (с Изменениями N 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2005.

107. Борисович Ю. Г., Близняков Н. М., Израилевич Я. А., Фоменко Т. Н. Введение в топологию. — Изд. 3-е. — М.: ЛЕНАНД, 2015. – 443 с.

108. Рыжов В.А. Сетцентризм – управление сложностью / Рыжов В.А. // Москва – 2013. [сайт С.П. Курдюмова]. URL: <http://spkurdyumov.ru/networks/setecentrizm-upravlenie-slozhnostyu>.
109. Рыжов В.А. Эволюция и структурный сдвиг роли ИТ или к вопросу обустройства «интеллектуальных месторождений» и судьбах «интеллектуальных реформ» / Рыжов В.А., Новоточинов А.А., Фадеева Т.И. // Москва– 2013. [сайт С.П. Курдюмова] URL: <http://spkurdyumov.ru/networks/evolyuciya-i-strukturnyj-sdvig-rol-i-it/2>.
110. Мировой психоанализ. [Библиофонд. Электронный словарь]
111. Boyd J.R. A Discourse on Winning and Losing. Unpublished Briefing Slides, Boyd J.R. 1992.– URL: https://www.coljohnboyd.com/static/documents/2018-03_Boyd_John_R_edited_Hammond_Grant_T_A_Discourse_on_Winning_and_Losing.pdf.
112. Боевые действия в едином информационном пространстве. Сетцентрический фронт. [Военное обозрение] – URL: <https://topwar.ru/134198-boevye-deystviya-v-edinom-informacionnom-prostranstve-setecentricheskiy-front.html>.
113. Ивлев А.А. Основы теории Бойда, монография, М. 2008. – 64 с.
114. Бойд Дж. The Essence of Winning and Losing, Unpublished lecture notes, Boyd J.R. 1996. [Военная история и футурология]. – URL: <http://www.milresource.ru/Boyd.html>.
115. Keith Shaw. The OSI model explained and how to easily remember its 7 layers. Network World (14 октября 2020) // <https://www.networkworld.com/article/3239677/the-osi-model-explained-and-how-to-easily-remember-its-7-layers.html>.
116. Бриллюэн, Л. Наука и теория информации: перевод с англ. А.А. Харкевича/ Л. Бриллюэн. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 392 с.
117. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
118. Вировец, А.М. Таблицы для преобразования прямоугольных координат / А.М. Вировец, Б.Н. Рабинович. – М.: Геодезиздат, 1952. – 134 с.

119. Бреслер И.Б., Новоселов П.В., Семенов С.А. Методический подход к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов. // Статья. Журнал «Радиотехника» № 5, «Радиосистемы», выпуск 87, «Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы» № 11, 2005 г.
120. Бреслер И.Б., Новоселов П.В., Семенов С.А. «О подходе к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов». Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления». НСМВ 2006. Тверь, 2006 г.
121. Коган, И.М. Прикладная теория информации/ И.М. Коган. – М.: Радио и связь, 1981 г. – 424 с.
122. Коган, И.М. Теория информации и проблемы ближней радиолокации /И.М. Коган. – М.: «Советское радио», 1968. – 144 с.
123. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
124. Кузьмин, С.З. Цифровая обработка радиолокационной информации / С.З.Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1967. – 400 с.
125. Кузьмин, С.З. Основы цифровой обработки радиолокационной информации/ С.З.Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
126. Кузьмин, С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З.Кузьмин. – Киев: КВиЦ, 2000. – 428 с.
127. Кореньков В.М., Мойсеенко П.Г., Семенов С.А. Время нового подхода. Агрегирование информации – эффективный способ борьбы с информационными перегрузками. // Воздушно-космическая оборона № 3 (28), 2006.
128. Магнус Ян Р. Матричное дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике / Ян Р. Магнус, Ханс Нейдекер. – перераб. изд. – М.: Физико-математическая литература, 2002. – 495 с.
129. Netfilter. Firewalling, NAT and packet mangling for linux : site. URL: <http://netfilter.org> (accessed: 21.04.2021)/
130. Wiktionary, the free dictionary. [Wiktionary, the free encyclopedia]. – URL: <https://wiktionary.org/wiki>.

131. Справочник по основам радиолокационной техники / А.М.Педак [и др.]. – М.: Военное издательство, 1967.–768 с.
132. Справочник геодезиста: в 2 кн. 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1975. – 1056 с.
133. Стратонович, Р.Л. Теория информации / Р.Л. Стратонович. – М.: Сов. Радио, 1975. – 424 с.
134. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
135. Стандарт протокола маршрутизации OSPF версия 2 - RFC2328 // IETF:– URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.
136. Стандарты VLAN- IEEE802.1aq, IEEE 802.1Q. – URL: <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q-2014.htm>.
137. Безель, Я.В. Что показали испытания фрагмента единой автоматизированной радиолокационной системы ФСР и КВП РФ / Я.В. Безель, В.А.Мазов и [др.] // Радиопромышленность. – 2008. – В. 1.
138. Ивлев А.А. Основы теории Джона Бойда. Принципы, применение и реализация. [Военная история и футурология]. – URL: https://www.studmed.ru/view/ivlev-osnovy-teorii-boyda-monografiya_24a163cc6e7.html
139. Денисов А.А. «Призрачные» субъекты управления современным военным и политическим конфликтом. / Денисов А.А. – Государственная служба, 2010 - № 2 – С. 67-70.
140. Денисов А.А. Подавление циклов Бойда: Опыт управления военными и политическими конфликтами. 1999 – 2009 гг. / Денисов А.А. – Информационные войны, 2010. – № 2 – С.15
141. Копп С. Связь цикла OODA с законами сетецентрической войны. (Understanding NetWork Centric Warfare). Dr Carlo Kopp. Australian Aviation, January/February. [Австралия_авиация]. – 2005. [Военная история и футурология]. – URL: <http://www.milresource.ru/P-1-8.jpg>.
142. Пальгуев, Д.А. Особенности обработки вторичной радиолокационной

информации в сетевой информационной структуре. Основные проблемные вопросы построения сетецентрической структуры / Д.А. Пальгуев // Доклад на научно-технической конференции «Радиооптические технологии в приборостроении». Тезисы докладов. – Туапсе, 3-7.09.2012.

143. John R. Boyd. Patterns of Conflict. Unpublished Briefing Slides, Boyd J.R. 1986. [Военная история и футурология]. – URL: <http://www.projectwhitehorse.com/pdfs/boyd/patterns%20of%20conflict.pdf>

144. Пять стратегических колец Уордена, петля Бойда НОРД и операции на основе эффектов. [Викичтение]. – URL: <https://military.wikireading.ru/38498>.

145. Пальгуев, Д.А. Анализ концепции «сетевых войн» и её развития в вооруженных силах зарубежных государств и в Вооруженных Силах Российской Федерации/ Д.А. Пальгуев, С.В. Геращенко // Сборник докладов XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения», филиал ВКА им. А.Ф. Можайского. – Ярославль, 2011. – С. 316-326.

146. Пальгуев Д.А. Оценка многомерной плотности распределения вероятности отождествления вторичной радиолокационной информации о воздушных объектах на сервере сетевой информационной структуры. / Д.А. Пальгуев // Сборник докладов XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения», филиал ВКА им. А.Ф. Можайского. – Ярославль, 2011.– С. 327-332.

147. Философский энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия. Гл. редакция: Л. Ф. Ильичёв, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалёв, В. Г. Панов. 1983. – 840 с.

148. Сатаров, В. Развитие форм и способов боевых действий Сухопутных войск США / В. Сатаров, Н. Балухов // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 1 (778).

149. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей / Фарина А., Студер Ф. (Radar Data Processing. Volume I – Introduction and Tracking). Производств. изд-во. Перевод с англ. яз.)– М.: Радио и связь,

1993. – 319 с.[BookReader] – URL: <http://bookre.org>.

150. Акулинчев А.Б. Проблемы цифровизации военных сетей связи и пути их решения.[НАТЕКС].– URL:[http:// www.nateks.ru/pub/index.php? lpub=82](http://www.nateks.ru/pub/index.php?lpub=82)

151. Буренок В. М. Базис сетецентрических войн – опережение, интеллект, инновации [Независимое военное обозрение]. – URL: [http:// nvo.ng.ru/concepts/2010-04-02/1_bazis.html](http://nvo.ng.ru/concepts/2010-04-02/1_bazis.html).

152. ГК «Информтехника». – URL :[http:// www. minicom.ru /produkty_i_resheniya /index.php](http://www.minicom.ru/produkty_i_resheniya/index.php).

153. Магистральная цифровая сеть связи ТТК. [ТТК]. – URL: [http:// www. sibttk.ru/about/net/telecommunications](http://www.sibttk.ru/about/net/telecommunications).

154. Кондратьев А.Е. Сетецентрический фронт. Боевые действия в едином информационном пространстве. [Pentagonus]. – URL: [http://pentagonus.ru/publ / se-tecentricheskij_front_boevye_dejstvija_v_edinom_informacionnom_prostranstve/19-1-0-1738](http://pentagonus.ru/publ/se-tecentricheskij_front_boevye_dejstvija_v_edinom_informacionnom_prostranstve/19-1-0-1738).

155. Копылов А.В. К вопросу о критике концепции «сетецентрических войн» (операций) в американских СМИ. [Pentagonus].– URL: [http:// pentagonus.ru/publ/ k_voprosu_o_kritike_koncepcii_quot_setecentricheskikh_vojn_operacij_v_amerikanskih_smi/19-1-0-1758](http://pentagonus.ru/publ/k_voprosu_o_kritike_koncepcii_quot_setecentricheskikh_vojn_operacij_v_amerikanskih_smi/19-1-0-1758).

156. «Сетецентрическая война», так ли она хороша на деле в Армии мира. [Армейский вестник]. – URL: [http:// army-news.ru/2011 /01/setecentricheskaya-vojna](http://army-news.ru/2011/01/setecentricheskaya-vojna).

157. Что такое IPv6 и зачем он нужен? [Info.nic.ru]. – URL: [http:// info.nic.ru/st/8/out_1769.shtml](http://info.nic.ru/st/8/out_1769.shtml).

158. Multi-radar tracker (MRT). [Northropgrumman]. – URL: [http:// www.es.northropgrumman.com/solutions/multiradartracker/assets/Multi-Radar_Tracker-MRT.pdf](http://www.es.northropgrumman.com/solutions/multiradartracker/assets/Multi-Radar_Tracker-MRT.pdf).(:19.12.2011).

159. Кондратьев А.Е. Боевые действия в едином информационном пространстве – сетецентрический фронт. [Военное обозрение]. – URL:<https://topwar.ru>.

160. «Концепция «сетецентрической» войны для армии России: «множитель силы» или ментальная ловушка?» В.И. Ковалёв, Г.Г. Малинецкий, Ю.А. Матвиенко [сайт С.П. Курдюмова]. – URL: <http://spkurdyumov.ru>.

161. Цебровски А. Сетецентричная война: ее происхождение и будущее (*Network-centric Warfare: Its Origin and Future*) / Cebrowski Arthur K., Garstka John J. // Proceedings, January 1998. [Геополитика]. – URL: <https://www.geopolitica.ru>.

162. Технические условия на радиомодем УВ-89-03 МКПЕ.464657.002 ТУ, ЗАО «ОС ИНФОКОМ», 2010

163. Пат. 2580070 РФ, Н04L9/00. Система радиосвязи со сверхширокополосными сигналами. Митрофанов Д.Г., Зайцев А.В. и др.; заявл. 30.07.2014 - № 2014131685; опубл. 10.04.2016; Бюл. № 10.

164. Пальгуев Д.А. Оценка вероятности объединения информации радиолокационных измерений от пространственно-разнесенных источников/ Д.А. Пальгуев, Е.С. Фитасов, А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, Д.А. Васильев / Труды XXIV научной конференции по радиофизике РФФ ННГУ им.Н.И. Лобачевского 2020 г. С. 207-212

165. Пальгуев Д.А. Матричный метод обработки массивов динамически изменяющихся данных / Д.А. Пальгуев, В.Ю. Семенов / Труды XXIV научной конференции по радиофизике РФФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского 2020 г. С. 213-217

166. Пальгуев Д.А. Динамические массивы однородных радиолокационных данных в больших информационных системах / Д.А. Пальгуев, А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов / Труды XXV научной конференции по радиофизике. материалы докладов. Нижний Новгород, 2021.. Нижний Новгород: ННГУ, 2021. С. 536-539.

167. Пальгуев Д.А. Оценка возможностей распознавания радиолокационными и оптическими система объектов типа «птицы» по траекторным признакам / Е.С. Фитасов, А.Б. Борзов, Д.А. Пальгуев, О.С. Носкова, К.Н. Пиунов / Труды XXV научной конференции по радиофизике. Материалы докладов (Нижний Новгород, 14—26 мая 2021 г.).. Нижний Новгород: ННГУ. 2021. С. 235-238.

168. Пальгуев Д.А. Метод сетевой обработки в информационных системах сетевой структуры / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 14-ой международной научно – технической конференции / Владим. гос. университет; редкол.: А.Г. Самойлов (и др). – Владимир: ВлГУ. - 2021. – 435 с. - ISBN 978-5-9984-1357-5, С. 70-75

169. Пальгуев Д.А. Экспериментальные результаты объединения информации от разнородных источников по неполным данным / Д.А. Пальгуев, А.Б. Борзов, Д.А. Васильев, А.В. Шиндин, С.П. Моисеев, К. Н. Пиунов / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 14-ой международной научно – технической конференции / Владим. гос. университет; редкол.: А.Г. Самойлов (и др). – Владимир: ВлГУ. - 2021. – 435 с. - ISBN 978-5-9984-1357-5, С. 169-172

170. Пальгуев Д.А. Обработка РЛИ от некогерентных и неоднородных источников в информационной системе сетевой структуры. Возможности применения элементов искусственного интеллекта / Труды Конференции. VIII Всероссийская научно-техническая конференция "Дальняя радиолокация на службе Отечеству" (2021). Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022, С. 245-258

171. Пальгуев, Д.А. Особенности построения сетецентрических информационных систем обработки и обмена радиолокационной информацией / Сборник тезисов докладов на Международной военно-научной конференции УО «Военная академия Республики Беларусь» «Современная военно-техническая политика: проблемы и перспективы». – Минск, 21-22.03.2013, С. 172.

172. Пальгуев, Д.А. Особенности построения автоматизированной системы управления сетевой структуры // Проблемные вопросы развития системы противовоздушной обороны в современных условиях / Материалы Международной военно-научной конференции. – Минск, 4-5 февраля 2016 г., С. 15-19.

173. Петрушенко Л.А. Единство системности, организованности и самодвижения / М.: Мысль, 1975. – 286 с.

174. Научно-технический отчет по ОКР «Азалия» «Разработка промышленной технологии создания автономной (без использования глобальных навигационных систем) системы информационного взаимодействия, позиционирования и связи радиолокационных модулей мобильных многопозиционных высокопотенциальных РЛК типа «Небо-ММ», АО «ФНПЦ «ННИИРТ», 2015. – 232 с.

175. Передача информации и избыточность / М.В. Литвин. Нижний Новгород: Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2011. т. 54. № 11. С. 859-868.

176. Технические условия на комплекс УКОС ЛНВК.465287.015 ТУ, ОАО «НПП Прима», 2006.
177. Технические условия на комплекс КТС-01ЦС УРВИ.465235.001ТУ, ОАО «Муромский радиозавод», 2007.
178. Захаров, Г.П. Расчет количества каналов связи при обслуживании с ожиданием/Г.П. Захаров, Н.П. Варакосин // Номограммы и таблицы. –М.: Связь, 1967.– 304 с.
179. Башарин, Г.П. Таблицы вероятностей и средних квадратичных отклонений потерь на полноступном пучке линий / Г.П. Башарин. – М.: Издательство АН СССР, 1962. –127 с.
180. Шнепс, М.А. Численные методы теории телетрафика/ М.А.Шнепс. – М.: Связь, 1974. –232 с.
181. Мовсимович, А.И. Комбинированный метод расчета потерь в сетях с коммутацией каналов/ А.И. Мовсимович // М.: Электросвязь. –1978. – № 9.
182. Иванова, Т.И. Корпоративные сети связи/ Т.И.Иванова. – М.: «Эко-трендз», 2001. – 284 с.
183. Шмалько, А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения/ А.В. Шмалько. – М.: Эко-трендз, 2001. –282 с.
184. Общие технические требования на городскую цифровую АТС интеллектуальной сети (АТС-ИС) / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200043125> (Дата обращения 23.02.2021).
185. RFC 1122, Requirements for Internet Hosts – Communication Layers, R. Braden (ed.), October 1989.
186. UTI-T Rec G.703 (11/2001)/ Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. SERIES G: Transmission systems and media, digital systems and networks / Digital terminal equipments – General
187. ITU-T Recommendations <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=V> (дата обращения 09.07.2022)
188. Передача потока Ethernet по каналам E1/STM | QTECH / <https://www.qtech.ru/solutions/operators/peredacha-potoka-ethernet-po-kanalam-e1->

stm/?ysclid=15gk5a4499466138947 (дата обращения 11.07.2022).

189. TDMoIP шлюз | TERRATEL / <https://www.terratel.eu/ru/tdm-over-ip-gateway.html> (дата обращения 15.07.2022)

190. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.

191. Jane's C4I Systems 2008-2009. – Jane s Information Group Limited: 2008. – P. 23-24.

192. Вопросы проектирования и создания единой автоматизированной системы радиолокационной разведки и контроля воздушного пространства. Я.В. Безель, И.Т. Шаповалов, Радиопромышленность, вып. 4, 2002.

193. М. Ходаренок Система контроля воздушного пространства России до сих пор не завершена - Газета.Ru (gazeta.ru). //http://www.gazeta.ru/army/2017/01/15/10476587.shtml.

194. EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange Part I. All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (ASTERIX) / <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-specification-surveillance-data-exchange-part-i>.

195. Deming, W. Edwards (1986). Out of the Crisis. MIT Press. ISBN 0-911379-01-0. OCLC 13126265

196. Словари и энциклопедии на Академикe / <https://dic.academic.ru>

197. Семенов Ю. А. Протоколы Internet. – 2-е изд., стереотип.. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 1100 с.

198. Деминг Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Эдвардс Деминг; Пер. с англ. — 5-е изд. — М.: Альпина Паблшер, 2012. — 419 с.

199. Файоль А., Эмерсон Г., Тэйлор Ф., Форд Г. Управление – это наука и искусство / Составитель Г. Л. Подвойский, – М.: Республика, 1992. - 349 с.

200. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. / Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова; под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е издание. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.

201. Красовский Ю.Д. Организационное поведение / Учеб. пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003 г. – 511 с.
202. Пальгуев Д.А. К вопросу о формировании однородного динамического массива радиолокационных данных // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь / Сборник трудов XXVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Б. Я. Осипова, Воронеж, 2022. С. 70-78.
203. Л. В. Савин Сетевая война: её происхождение и будущее / <https://www.geopolitika.ru/article/setecentricnaya-voyna-ee-proishozhdenie-i-budushchee?ysclid=lckijbfrku867546000>
204. Пальгуев Д.А. Распознавание малоразмерных малоскоростных воздушных объектов на основе оценки энтропии параметров траекторий / Пальгуев Д.А., Васильев Д.А., Ильясафов А.Д. // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь / Сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ. В 5-ти томах, Воронеж, 2023. С.410-418
205. Пальгуев Д.А. Экспериментальные исследования по распознаванию воздушных объектов типа «птицы» / Пиунов К.Н., Багурин А.С., Белов Ю.А., Пальгуев Д.А., Носкова О.С., Васильев Д.А., Фитасов Е.С. // Труды XXVI научной конференции по радиофизике, посвященной 120-летию М.Т. Греховой, Нижний Новгород 2022. С. 245-248 ISBN: 978-5-91326-788-7
206. Пальгуев Д.А. Результаты имитационного моделирования по объединению локационной информации от разнородных источников по неполным данным / Пальгуев Д.А., Борзов А.Б., Васильев Д.А., Шиндин А.В., Моисеев С.П., Пиунов К.Н. // В сборнике: Труды XXVI научной конференции по радиофизике, посвященной 120-летию М.Т. Греховой. Материалы конференции. Нижний Новгород, 2022. С. 541-545.
207. Пальгуев Д.А. "Основные проблемные вопросы создания информационных систем для обработки радиолокационной и разнородной информации" / Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин, В.В. Савцов // Труды XXVII научной конференции по радиофизике (Нижний Новгород, 15—25 мая 2023 г.). Нижний Новгород: ННГУ,

2023. – С. 224-228.

208. Пальгуев Д.А. Об алгоритме эхокомпенсации и шумоподавления в телекоммуникационных системах / Холкина Н.Е., Проскураков А.Ю., Пальгуев Д.А. / Труды XXVII научной конференции по радиофизике (Нижний Новгород, 15—25 мая 2023 г.). Нижний Новгород: ННГУ, 2023. – С. 229-230.

209. Пальгуев Д.А. Управление качеством информации в информационных системах сетевой структуры / Пальгуев Д.А., Фитасов Е.С., Саберов А.Г.// Международная научно-техническая конференция «Современная элементная база радиоэлектроники и её применение», 6-я конференция имени О.В. Лосева, посвящённая 120-летию со дня рождения О. В. Лосева, 12-13 октября 2023 г. Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского / Информационные системы и технологии - 2023: [Электронный ресурс]: Программа и материалы XI Международной научно-технической конференции «Современная элементная база радиоэлектроники и её применение» им. О.В. Лосева – Электрон. дан. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2023. С. 114-118.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «ФНПЦ «ННИИРТ»

«11» апреля 2024

В.Е. Тевлин



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
«Методы и алгоритмы построения информационной системы сетевой структуры для
обработки локационной информации» доцента радиофизического факультета ННГУ
им. Н.И. Лобачевского ПАЛЫГУЕВА Дмитрия Анатольевича, представленной на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный
анализ, управление и обработка информации, статистика

Комиссия в составе: председателя – заместителя генерального директора-главного инженера Францева М.Е., и членов комиссии: заместителя главного инженера, к.т.н. Аржанова С.Н., главного конструктора по направлению, к.т.н. Ястребова В.Д., ученого секретаря НТС, к.т.н. Сычушкина И.В. составила настоящий акт в том, результаты диссертационного исследования Д.А. Пальгуева внедрены в разработанных алгоритмах и фрагменте информационной системы сетевой структуры в ОКР «Азалия», в построении систем связи и передачи данных ряда РЛС и РЛК, выпускаемых серийно АО «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники».

В составной части ОКР «Азалия» и серийно выпускаемых РЛС и РЛК внедрены следующие результаты диссертационной работы:

1. Методы и алгоритмы сетевой обработки реализованы в построении фрагмента информационной системы сетевой структуры для обработки радиолокационной информации. По результатам проведения испытаний конструкторской документации ОКР «Азалия» присвоена литера О.

2. Алгоритмы работы аппаратуры передачи данных, аппаратуры радиомодемов Wi-Fi, аппаратуры цифровой связи КТС-01ЦС внедрены в системы связи и передачи данных ряда опытных образцов и серийно выпускаемых РЛС и РЛК (55Ж6ММ, 103Ж6, 1Л125).

По результатам диссертационного исследования автором получено 8 патентов на изобретения, полезные модели и 6 свидетельств на программы, патентообладателем которых является АО «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники».

Предложенные в диссертационной работе алгоритмы, методы, технические решения позволили разработать системы связи и передачи данных в ряде РЛС и РЛК, не уступающие по эффективности зарубежным аналогам.

Полученные Д.А. Пальгучевым в диссертационной работе результаты позволили обеспечить выполнение современных требований к техническим характеристикам систем связи и передачи данных ряда серийно выпускаемых РЛС и РЛК при жестких ограничениях по массе, габаритам, энергопотреблению, номенклатуре элементной базы и стоимости.

Внедренные результаты работы Пальгучева Д.А. содержат новые научно-обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития промышленного комплекса страны.

Председатель комиссии:

Заместитель генерального
директора-главный инженер



М.Е. Францев

Члены комиссии:

Заместитель главного
инженера, к.т.н.



С.Н. Аржанов

Главный конструктор по
направлению, к.т.н.



В.Д. Ястребов

Ученый секретарь НТС, к.т.н.



И.В. Сычушкин

«УТВЕРЖДАЮ»


 Генеральный директор АО ЦКБА
 доктор технических наук
 Хомяков А.В.

АО ЦКБА » адмирал 2024 г.

АКТ

внедрения результатов научных исследований, полученных в диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук Пальгуева Дмитрия Анатольевича, выполненной на тему «Методы и алгоритмы построения информационной системы сетевой структуры для обработки локационной информации»

Комиссия в составе:

председателя – заместителя генерального директора - начальника НТК Курбатского С.А., членов комиссии - начальника отдела 414, доктора технических наук, профессора Румянцева В.Л., заместителя начальника отдела доктора технических наук, профессора Есикова О.В. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора технических наук Пальгуева Дмитрия Анатольевича, а именно: принципы построения информационной системы сетевой структуры, предназначенной для обработки радиолокационной информации (РЛИ), в составе взаимосвязанных серверов обработки; модернизированные алгоритмы обработки и системного обмена РЛИ внедрены в информационной системе сетевой структуры, разрабатываемой АО «ЦКБА».

Полученные Д.А. Пальгуевым в диссертационной работе результаты позволили обеспечить выполнение современных требований к техническим характеристикам информационных систем обработки и обмена радиолокационной информации в системах контроля воздушного пространства при ограничениях по пропускной способности, вычислительной мощности, номенклатуре элементной базы и стоимости.

Внедренные результаты работы Пальгуева Д.А. содержат новые научно-обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение при решении задач обработки радиолокационной информации.

Председатель комиссии:



Курбатский С.А.

Члены комиссии:

д.т.н., профессор



Румянцев В.Л.

д.т.н., профессор

Есиков О.В.

УТВЕРЖДАЮ
Управляющий директор
ООО «ОС ИНФОКОМ»



О.Т. Сивов

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы

«Методы и алгоритмы построения информационной системы сетевой структуры для обработки локационной информации»
доцента радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского Пальгуева Дмитрия Анатольевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Д.А. Пальгуева внедрены в разработанных алгоритмах аппаратуры передачи данных и устройствах УВ-89-07(08), выпускаемых серийно ООО «ОС ИНФОКОМ».

В аппаратуре передачи данных и устройствах УВ-89-07(08), выпускаемых серийно ООО «ОС ИНФОКОМ», внедрены следующие результаты диссертационной работы:

1. Алгоритмы сопряжения аппаратуры передачи данных с радиосредствами и локальными сетями изделий, предназначенные для обеспечения функционирования систем связи и передачи данных. Выпускаются серийно с литерой О₁.
2. Алгоритмы функционирования устройств УВ-89-07(08) и алгоритмы сопряжения указанной аппаратуры с локальными сетями изделий, предназначенные для функционирования систем связи и передачи данных. Выпускаются серийно с литерой О₁.

Предложенные в диссертационной работе алгоритмы, методы, технические решения позволили модернизировать аппаратуру передачи данных и устройства УВ-89-07(08), предназначенные для обеспечения функционирования систем связи и передачи данных ряда изделий, не уступающие по эффективности зарубежным аналогам.

Полученные Д.А. Пальгучевым в диссертационной работе результаты позволили обеспечить выполнение современных требований к техническим характеристикам систем связи и передачи данных ряда серийно выпускаемых изделий при жестких ограничениях по массе, габаритам, энергопотреблению, номенклатуре элементной базы и стоимости.

Внедренные результаты работы Пальгучева Д.А. содержат перспективные научно-обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития современных сетей и систем связи и передачи данных.



Технический директор
ООО «ОС ИНФОКОМ»

А. В. Колодиров

УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по науке и инновациям
 ННГУ им. Н.И. Лобачевского, к.ф.-м.н.,
 М.Ю. Грязнов



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы

«Методы и алгоритмы построения информационной системы сетевой структуры для обработки локационной информации»
 доцента радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, к.т.н., Пальгуева Дмитрия Анатольевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

составлен в том, что в образовательном процессе кафедры радиотехники радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского внедрены следующие результаты диссертационного исследования Д.А. Пальгуева:

- критерии оценки эффективности радиолокационных и информационных систем;
- принципы построения информационной системы сетевой структуры, предназначенной для обработки локационной информации, в составе взаимосвязанных серверов обработки;
- алгоритмы обработки локационной информации на серверах информационной системы сетевой структуры;
- алгоритмы системного обмена информации, предназначенные для функционирования информационной системы сетевой структуры в целом.

Указанные результаты исследования внедрены в следующих образовательных дисциплинах:

- для специальности специалитета «Специальные радиотехнические системы»: «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных систем», «Основы организации производства радиотехнических систем», «Основы эксплуатации радиотехнических систем»,
- для специальностей бакалавриата, магистратуры и аспирантуры «Фундаментальная информатика и информационные технологии», «Информацион-

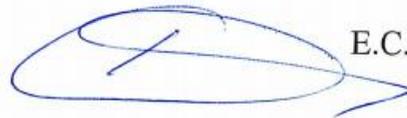
ная безопасность телекоммуникационных систем» в курсах лекций «Интеллектуальные системы», «Технологии передачи данных», «Дистанционное зондирование объектов окружающей среды», «Методы дистанционного зондирования объектов окружающей среды».

Декан радиофизического факультета, д.т.н., профессор



В.В. Матросов

Заведующий кафедрой радиотехники, д.т.н., доцент



Е.С. Фитасов