

**Московский Государственный Технический Университет**

**им. Н. Э. Баумана**

**На правах рукописи**

**Ривкин Андрей Маркович**

**УДК: 629.7.05**

**КРОССПЛАТФОРМЕННЫЙ КОНВЕРТОР  
GRIB ФОРМАТА МЕТЕОДАНЫХ  
ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛетаМИ  
ПО ЭШЕЛОНАМ**

**А в т о р е ф е р а т**

**Квалификационной работы бакалавра по направлению 210200  
Проектирование и технология электронных средств**

**Москва – 2012**

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете  
им. Н. Э. Баумана

**Научный руководитель:**

А.И.Власов  
канд. техн. наук, доцент кафедры ИУ4  
«Проектирование и технология производства  
ЭА» МГТУ им.Н.Э.Баумана

**Научные консультанты:**

Л.В.Журавлева  
канд. техн. наук, доцент кафедры ИУ4  
«Проектирование и технология производства  
ЭА» МГТУ им.Н.Э.Баумана

Д.В.Арутюнян  
начальник сектора отдела по созданию КСА  
ОАО "НТЦ Промтехаэро"

**Ведущее предприятие:** ОАО "НТЦ Промтехаэро" (г. Москва)

Защита квалификационной работы бакалавра состоится 29 июня 2012 года на заседании Государственной аттестационной комиссии по направлению 210200: «Проектирование и технология электронных средств» в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана (ауд.278).

Ваши отзывы в двух экземплярах просьба высылать по адресу:  
105005, г.Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5, ИУ-4.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь Государственной квалификационной комиссии по направлению  
210200: «Проектирование и технология электронных средств»  
Доцент, кандидат технических наук Лавров А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность:

В воздушном пространстве нашей страны постоянно находится множество воздушных судов. Для обеспечения безопасности их полетов необходимо осуществлять планирование и координацию их движения, а также непосредственное управление этим движением (передача информации, помощь в аварийных ситуациях, предотвращение таких ситуаций). Эти функции в соответствии с действующим воздушным кодексом возложены на органы единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД). Кроме того, часть функций по управлению движением воздушных судов возложена на ведомственные органы управления. Они действуют в пределах установленных для них районов и зон.

Конечная цель всех этих органов управления – обеспечение безопасности, регулярности и эффективности полётов. В действующей системе управления ведущая роль принадлежит ЕС УВД. Она имеет главный, зональный и региональный центры. Все воздушное пространство РФ поделено на сектора. Часть секторов зарезервирована для военных целей, часть для гражданских целей. Военными секторами управляют Военно-Воздушные Силы (ВВС).

Однако анализ существующей ситуации с подачей планов полётов и сообщений о движении воздушных судов (ВС) позволяет выявить ряд негативных сторон:

- непоступление в главный центр (ГЦ) на регулярной основе значительной доли планов полётов и сообщений о движении ВС, выполняющих международные полёты, существенно затрудняет реализацию разрешительного порядка использования воздушного пространства (ИВП) Российской Федерации (РФ);
- в органы ОВД и Военно-Воздушные Силы плановая информация поступает не всегда удовлетворительного качества, требующая значительных усилий по обработке телеграмм одновременно во всех органах, затрагиваемых полётом;
- имеет место множество случаев непоступления планов полётов и сообщений, касающихся их обновлений, в необходимые адреса. Одновременно с этим из-за ошибок адресования в органы ОВД поступает требующая обработки информация о полётах, их не затрагивающих;
- отсутствует механизм влияния со стороны центров Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД) на поступающую в органы ОВД плановую информацию, что не позволяет добиваться их корректности, полноты и своевременности.

Для устранения выявленных недостатков было принято решение о создании Централизованной службы обработки планов полетов (ЦСОПП). Она создаётся на двух основных принципах:

- принципе централизации сбора и распространения плановой информации по всей зоне ответственности ГЦ,
- принципе реализации обратной связи с органом, подающим сообщения.

Все пользователи воздушного пространства (ВП) РФ будут подавать планы полётов фактические планы полета (ФПЛ) и сообщения, касающиеся их обновления, только в единственный адрес-ГЦ ЕС ОрВД (принцип централизации сбора плановой информации). При этом, если полёт затрагивает пространство за пределами ВП РФ, дополнительные адреса будут указываться подателем сообщений самостоятельно.

ЦСОПП, получив план полёта, анализирует его на синтаксис/семантику, соответствие действующей аэронавигационной информации, ограничениям (отсутствие долгов по оплате аэронавигационного обслуживания (АНО), соответствие свидетельству эксплуатанта и т.п.), установленным нормативам пропускной способности органов ОВД, соблюдение установленной последовательности и сроков подачи сообщений и, при положительном результате, будет направлять подателю плана полёта сообщения о принятии плана (принцип обратной связи). При наличии в плане незначительных ошибок, поддающихся

автоматическому исправлению, ЦСОПП будет исправлять их и текст исправленного плана полёта будет включаться в ответное сообщение подателю для извещения его о том, в каком виде его план принят системой ОВД РФ. Пользователю будет предоставляться право несогласия с исправлениями. При этом он будет должен отменить план полёта и представить новый. В случае, когда ошибки в принятом плане носят критический характер, или не будут поддаваться автоматическому исправлению, ЦСОПП будет направлять подателю сообщение о непринятии плана полёта (сообщения) с указанием ошибок для исправления. При этом податель может заказать у ЦСОПП услугу на ручное исправление ошибок.

Создание централизованной службы обработки планов полетов (ЦСОПП) позволит создать и вести в одном - главном оперативном органе системы ОрВД – единый план воздушного движения по воздушным трассам, включающий информацию о планах полетов гражданской, государственной и экспериментальной авиации.

Существующая децентрализованная система обработки планов полетов несовершенна. Ресурсы воздушного пространства секторов ограничены, а потребность в этих ресурсах постоянно возрастает. Это приводит к сильной перегрузке органов обслуживающих воздушное движение. С момента создания децентрализованной системы изменились организационная структура и функции органов ЕС ОрВД. Старая система не учитывает эти изменения. Для управления воздушным пространством гражданских и военных секторов используются различные системы, не связанные друг с другом, что значительно затрудняет их взаимодействие. Существующая автоматизированная система обработки планов полетов работает на устаревшем оборудовании, ее программное обеспечение построено с использованием старых принципов, не гибко, не эффективно использует оборудование, дорого в эксплуатации и сопровождении. Часть важных функций связанных с обработкой планов полетов в ней не автоматизирована.

В связи с этим ОАО НТЦ «Промтехаэро» было поручено создание новой системы обработки планов полетов, свободной от этих недостатков.

Основой системы обработки планов полетов является подсистема вычисления точного местоположения воздушного судна на всех этапах полета. Всего принято выделять следующие этапы: руление, разбег, набор высоты, полет на эшелоне, снижение до захода на посадку, посадка, пробег. Для расчета точного местоположения воздушного судна на каждом из этих участков используется четырехмерная модель расчета траектории. Однако в действующей модели расчета траектории не учитывались внешние метео факторы, такие как: направление и скорость ветра, температура, давление и т.д. Это не позволяло получать точные координаты воздушного судна и эффективно планировать использование ресурсов воздушного пространства. В тоже время в западных системах управления полетами активно используется метео-информация. Для ее получения созданы специальные метеорологические центры, которые постоянно собирают и рассылают метеоданные. Для распространения и хранения метео-информации всемирной метеорологической организацией был разработан специальный стандарт представления бинарной метео-информации – GRIB (GRIdded Binary).

В рамках данной работы алгоритмы вычисления местоположения воздушных судов были модифицированы с целью учета метеоданных, получаемых в GRIB файлах.

**Цель работы:** разработка автоматизированной централизованной службы обработки планов полетов и, в частности, создание кроссплатформенного конвертора GRIB формата метеоданных с использованием библиотеки Nhibernate.

**Решаемые задачи:**

- 1) Проведение анализа службы обработки планов полетов;
- 2) Разработка структуры новой автоматизированной централизованной службы обработки планов полетов, обеспечивающей принцип централизации сбора и распространения плановой информации и обеспечивающей обратную связь с органом, подающим сообщения;

- 3) Разработка кроссплатформенного приложения на базе языка C# с использованием библиотеки Nhibernate, реализующего получение, обработку и структурирование актуальной метеоинформации;
- 4) Реализация алгоритмов получения, расшифровки и структурирования метеоданных зашифрованных в GRIB метеофайлах, содержащих актуальную метеоинформацию;
- 5) Тестирование и отладка развернутого приложения на тестовых топологиях предприятия ОАО "НТЦ Промтехаэро" (г. Москва).

**Методы исследования:**

При решении поставленных задач использованы методы синтаксического анализа, синтеза новых технических решений, теории автоматов и системного программирования.

**Научная новизна работы:**

- 1) Разработана оригинальная концепция программного обеспечения «конвертор GRIB формата метеоданных», позволяющая эффективно расшифровывать и структурировать метеоданные, закодированные в GRIB метео-файлах;
- 2) Проведена систематизация и обобщение задач службы обработки планов полетов, выявлены проблемы текущей системы, заключающиеся в отсутствии механизма влияния со стороны центров ЕС ОрВД на поступающую в органы ОВД плановую информацию, что не позволяет добиваться их корректности, полноты и своевременности;
- 3) Разработана модель функционирования Централизованной службы обработки планов полетов, основанная на двух базовых принципах: централизации сбора и распространения плановой информации по всей зоне ответственности ГЦ и принципе реализации обратной связи с органом, подающим сообщения, позволяющая создать и вести в одном - Главном оперативном органе системы ОрВД – единый план воздушного движения по воздушным трассам, включающий информацию о планах полетов гражданской, государственной и экспериментальной авиации.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) Модель структуры централизованной службы обработки планов полетов позволяет производить централизованный сбор и распространение плановой информации.
- 2) Предложенная концепция использования облачных вычислений при планировании воздушного движения позволяет снизить финансовые затраты при эксплуатации системы планирования воздушного движения.
- 3) Разработанные алгоритмы получения, обработки и структурирования метео-информации зашифрованной в GRIB формате, позволяют учитывать метео-информацию на этапе планирования воздушного движения и тем самым увеличить пропускную способность секторов воздушного движения.

**Практическая ценность работы:**

Практические результаты проекта - «конвертор GRIB формата метеоданных», который является модулем Централизованной службы обработки планов полетов по эшелонам. Модуль автоматически получает метеофайлы, проводит их обработку и структурирует метеоданные в базу данных, которые после используются Централизованной службой обработки планов полетов по эшелонам для более точной организации планов полетов.

### **Реализация результатов:**

Результаты работы являются рекомендации по структуре новой автоматизированной централизованной службы обработки планов полетов, включающей модуль – кроссплатформенный конвертор GRIB формата метеоданных, который обеспечивает периодическое получение и расшифровку метеоданных. Апробация модуля новой системы на тестовых топологиях ОАО "НТЦ Промтехазро" показала, что разработанный дешифратор метеоданных успешно выполняет поставленные перед ним задачи. Метеоданные, которые удается получить, благодаря данному модулю помогают оптимизировать использование имеющегося воздушного пространства Российской Федерации.

### **Апробация работы.:**

Материалы диссертации были представлены на 14-ая Международной научно-технической конференции "Научные технологии и интеллектуальные системы".

### **Публикации:**

По материалам и основному содержанию работы опубликованы 2 научные работы в научно-технических журналах и трудах конференций.

### **Структура и объем работы:**

Бакалаврская квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения. Общий объем работы 109 страниц, 40 рисунков, список использованных источников из 30 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность решения задач проектирования программного обеспечения для расшифровки и структурирования метеоданных, обоснована необходимость разработки новой централизованной службы обработки планов полетов.

Основные проблемы, существующие в настоящее время при подаче планов полетов:

- не поступление в главный центр (ГЦ) на регулярной основе значительной доли планов полётов и сообщений о движении ВС, выполняющих международные полёты, существенно затрудняет реализацию разрешительного порядка использования воздушного пространства (ИВП) РФ;
- в органы обслуживания воздушного движения (ОВД) и Военно-Воздушные Силы (ВВС) плановая информация поступает не всегда удовлетворительного качества, требующая значительных усилий по обработке телеграмм одновременно во всех органах, затрагиваемых полётом;
- имеет место множество случаев не поступления планов полётов и сообщений, касающихся их обновлений, в необходимые адреса. Одновременно с этим из-за ошибок адресования в органы ОВД поступает требующая обработки информация о полётах, их не затрагивающих;
- отсутствует механизм влияния со стороны центров Единой системы (ЕС) организации воздушного движения (ОрВД) на поступающую в органы ОВД плановую информацию, что не позволяет добиваться их корректности, полноты и своевременности.

Основные преимущества внедрения ЦСОПП:

- обеспечить централизованный контроль поступающей плановой информации с точки зрения правильности ее оформления и своевременности подачи;
- обеспечить своевременное поступление в органы ОрВД и ПВО, а также органы ОВД пользователей воздушного пространства качественной плановой информации и снять с них необходимость ее ручной обработки, переадресации и передачи;
- предоставить эксплуатантам ВС расширенные информационно-консультативные услуги (например, проверку правильности составления планов полетов в режиме удаленного доступа к центральной базе данных (ЦБД) ГЦ, формирование по

запросам планов полетов, прокладка маршрутов, предоставление информации о состоянии маршрутной сети (открытых/закрытых участках и эшелонах), аэронавигационных справочных данных и др.).

**В первой главе** производится анализ существующей службы обработки планов полетов. Выявление проблемы текущей системы, рисунок 1.

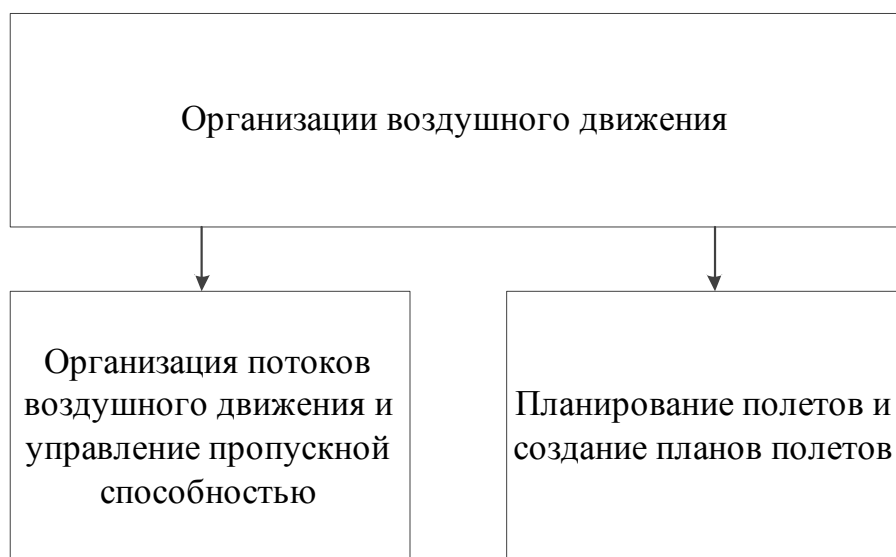


Рисунок 1 – Структура системы организации воздушного движения

Организация потоков воздушного движения и управление пропускной способностью – это процесс регулирования использования воздушного пространства с целью минимизации превышения пропускной способности аэропорта или воздушного сектора, а так же для эффективного использования доступных воздушных ресурсов.

Делаются выводы о необходимости разработать автоматизированную централизованную службу обработки планов полетов. Выявление проблем автоматизированной обработки планов полетов. Производится постановки задачи моделирования 4D-траектории воздушного судна по эшелонам.

#### Анализ существующей службы обработки планов полетов

Текущую процедуру предоставления аэронавигационной и плановой информации можно разбить на три основных этапа.

- Процедура организации потоков и управления пропускной способностью
- Процедуры планирования полетов
- Процедуры организации потоков и планирования полетов в Европейском регионе

#### Выявление проблем автоматизированной обработки планов полетов по эшелонам

В руководящих документах гражданской авиации (ГА) отмечается, что одной из основных задач при формировании Аэронавигационной системы (АНС) Российской Федерации (РФ) является создание эксплуатационных условий, гарантирующих всем пользователям воздушного пространства право доступа к ресурсам аэронавигационной системы, необходимым для удовлетворения их эксплуатационных потребностей и обеспечения высокого уровня безопасности воздушного движения.

В настоящее время сложилась ситуация, при которой:

- положения нормативных документов гражданской авиации РФ, регулирующие деятельность в области аэронавигационной информации, устарели, не соответствуют стандартам Международной организации гражданской авиации (ИКАО) и международной практике, мешают гармонизации и интеграции Аэронавигационной системы России с общемировой системой;

- существующие службы аэронавигационной информации разобщены по ведомственному принципу, что затрудняет оперативный доступ пользователей к требуемой аэронавигационной информации;
- ограниченный объем информационного содержания сборника аэронавигационной информации (АИП) России не удовлетворяет потребностей пользователей аэронавигационной информации (АНИ);
- практически отсутствует контроль качества предоставляемой АНИ;
- не создан механизм финансирования сбора, распространения государственной АНИ;
- не организована сертификация в области сбора, обработки, хранения и распространения АНИ, а также проведение экспертной оценки безопасности изменений, вносимых в структуру воздушного пространства;
- не обеспечен переход к технологии сбора, обработки, хранения и распространения АНИ в электронном виде;
- отсутствует единый электронный федеральный банк аэронавигационных данных по территории России, применение которого могло бы удовлетворить потребности пользователей воздушного пространства.

Основной целью реформирования подсистемы планирования ИВП является повышение безопасности воздушного движения и гибкости ИВП в интересах всех его пользователей. Основу роста создает внедрение единых (военно-гражданских) средств автоматизации планирования ИВП. Эти средства реализуют современные информационные технологии и обеспечивают сбор, оперативную обработку и распределение (выдачу) информации о потребностях в ИВП, о состоянии аэронавигационной системы и об условиях полетов (использования воздушного пространства) с целью создания наиболее благоприятных и безопасных условий для осуществления деятельности по ИВП в интересах экономики и обороны страны.

В настоящее время наиболее проблемным звеном в существующей системе планирования ИВП, с точки зрения функционирования технических средств, являются автоматизированные системы планирования воздушного движения гражданских секторов зональных центров ЕС ОрВД, а также технические средства (комплексы средств автоматизации) планирования ИВП военных секторов этих центров. Зональные центры ЕС ОрВД являются ключевым элементом во всей системе планирования ИВП, так как непосредственно осуществляют сбор и обработку всей информации о деятельности по ИВП в своих зонах ответственности и осуществляют путем совместной деятельности военных и гражданских специалистов распределение воздушного пространства по времени, месту и высотам между всеми его пользователями. Результаты этой деятельности доводятся до органов контроля ИВП (командных пунктов противовоздушной обороны) и органов ОВД (РЦ ЕС ОрВД, аэродромных центров УВД, командных пунктов аэродромов Минобороны России и других ведомств) для исполнения. Все это накладывает жесткие требования к надежности функционирования и уровню автоматизации технических средств планирования ИВП, а также к унификации технологических процедур в ЗЦ ЕС ОрВД. Существующие средства автоматизации гражданских и военных секторов ЗЦ ЕС ОрВД таким требованиям не отвечают.

Таким образом, создание и внедрение зональных интегрированных военно-гражданских автоматизированных систем планирования ИВП для оснащения зональных и создаваемых укрупненных центров ОрВД, имеет приоритетное значение. Головные образцы систем предусматривается развернуть в Ростовском и Санкт-Петербургском ЗЦ ЕС ОрВД.

В целом, основной задачей реформирования системы планирования ИВП должна стать интеграция военных и гражданских органов планирования ИВП на основе создания автоматизированных комплексов, объединенных сетью связи и передачи данных аэронавигационной системы, что обеспечит единое информационное пространство,



позволяющее осуществлять оперативное взаимодействие органов планирования между собой, с органами контроля ИВП, а также пользователями воздушного пространства.

К первоочередным задачам, которые должны быть решены в результате внедрения единых (военно-гражданских) средств автоматизации планирования ИВП, относятся:

- Интеграция планирования по линии военных и гражданских секторов в Главном, зональных и районных центрах ЕС ОрВД с целью создания единой военно-гражданской системы планирования ИВП.
- Единые (военно-гражданские) средства автоматизации планирования ИВП и ОПВД должны разрабатываться как единые программно-технические комплексы, автоматизирующие весь спектр задач планирования ИВП как по трассам, так и вне трасс. При этом должны быть предусмотрены средства, позволяющие обеспечивать прием и обработку в единых военно-гражданских системах ПИВП информации, поступающей от взаимодействующих абонентов, в том числе и по закрытым каналам связи.
- Создание Централизованной службы обработки планов полетов (ЦСОПП), предусматривающей совершенствование порядка и правил взаимодействия эксплуатантов с органами системы ОрВД при подаче планов полетов, а также приведение форматов сообщений и процедур взаимодействия к международным стандартам.
- Внедрение в практику работы органов ОрВД процедур, методов и технологий ОПВД в соответствии с рекомендациями ИКАО.
- Внедрение единых военно-гражданских автоматизированных систем планирования ИВП в создаваемых укрупненных центрах ОрВД.

Программа реформирования и переоснащения системы планирования ИВП, предусматривающая последовательную замену всего существующего парка средств автоматизации ПИВП, внедрение передовых информационных технологий и процедур, интеграцию в европейскую и мировую систему ОПВД, призвана способствовать успешному достижению основных стратегических целей АНС РФ.

Централизованная организация потоков воздушного движения начинается с составления и оптимизации сезонного расписания полетов. В целях унификации технологии работы диспетчеров ОПВД следует разработать один инструмент для всех этапов планирования и регулирования потоков ВС. Важно, чтобы с помощью одного и того же средства пользователь мог создавать план ИВП и анализировать его на соответствие пропускной способности. Такой инструмент, основанный на компьютерном моделировании плана использования воздушного пространства, разрабатывается в данной работе.

#### Постановка задачи моделирования 4D-траектории воздушного судна по эшелонам

В современных АС УВД (ПВД) большое внимание уделяется расчету 4D-траектории ВС по данным плана полета, причем повышение достоверности такого расчета является актуальной задачей, поскольку данные расчета используются в задачах распределения плановой информации по диспетчерским рабочим местам, а в системах планирования – для определения загрузок секторов УВД и других элементов воздушного пространства.

Текущие требования к достоверности информации, на основании которой принимаются решения в системах ПВД, предопределяют учет как можно большего числа факторов при расчете, в противном случае эффективность принимаемых решений в процессах планирования будет снижаться.

**Во второй главе** описывается математическое решение задачи расчета 4D-траектории.

#### Принципы расчета 4D-траектории:

При проведении расчетов полет принято рассматривать в последовательном прохождении следующих фаз:

- руление,
- разбег,

- набор высоты до занятия запрошенного эшелона с выходом в крейсерский режим полета,
- полет на эшелоне,
- снижение до захода на посадку (до точки входа в глиссаду),
- посадка,
- пробег

#### Полет на эшелоне

При полете на эшелоне для расчета траектории используются крейсерская скорость и крейсерский эшелон полета (параметры описываются в плане полета), а расчет производится с учетом ветра.

#### Модель, учитывающая взаимное расположение участка трассы и скорости ветра по GRIB

Входными данными для расчета служат значения скорости и направления ветра, передаваемые различными центрами (Вашингтон, Брекнелл, Москва) в ГСТ в кодах ГРИД или ГРИБ, на уровнях от 1000 до 100 гПа, (в крайнем случае, это могут быть и аэрологические данные, но их слишком мало).

Маршрут полета, описанный в плане полета (РПЛ, ППЛ, ФПЛ), и его изменения представляет собой заранее рассчитанную четырехмерную пространственную траекторию полета ВС в виде связанных отрезков линии пути, каждый из которых задан координатами, высотой (эшелон) и временем прохода пунктов маршрута, в том числе и пунктов изменения профиля полета. На каждом участке скорость ВС раскладывается на составляющие  $u_c$  и  $v_c$  (с учетом расположения участка на карте). Далее определяется средний ветер на этом участке, с учетом выбранного эшелона полета, причем учитывается ветер в начале, середине и в конце участка ( $u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3$ ). Для нахождения скорости ветра на эшелоне (уровне полета  $p$ ), не совпадающем с уровнями отбора данных, применяется логарифмическая интерполяция:

$$u = (u_1(p + p_1)(p_2 - p) + u_2(p + p_2)(p - p_1)) / 2p(p_2 - p_1);$$

$$v = (v_1(p + p_1)(p_2 - p) + v_2(p + p_2)(p - p_1)) / 2p(p_2 - p_1),$$

где  $u_1, p_1, v_1$  и  $u_2, p_2, v_2$  - составляющие ветра и давление на уровнях выше и ниже интерполируемого.

Для нахождения скорости ветра на конкретном уровне, но в произвольной точке применяется билинейная интерполяция:

$$u = u_a + (u_d - u_a)Dx + (u_b - u_a)Dy + (u_a - u_b + u_c - u_d)DxDy,$$

$$v = v_a + (v_d - v_a)Dx + (v_b - v_a)Dy + (v_a - v_b + v_c - v_d)DxDy,$$

где  $u_i, v_i$  - значения составляющих скорости ветра в узлах регулярной сетки,  $Dx, Dy$  - шаги сетки.

Средний ветер на участке трассы:

$$v_{1omp} = (v_1 + v_2 + v_3) / 3;$$

$$u_{1omp} = (u_1 + u_2 + u_3) / 3.$$

Путевая (суммарная) скорость ВС с учетом ветра:

$$v_{cv} = v_c + v_{1omp};$$

$$u_{cv} = u_c + u_{1omp},$$

где  $v_{cv}, u_{cv}$  - составляющие скорости ВС с учетом ветра. Путевая (итоговая) скорость ВС ( $W$ ) определяется как квадратный корень из суммы квадратов  $v_{cv}$  и  $u_{cv}$ . Зная длину участка  $s$  (в км), определяется время в пути:

$$W^2 = v_{cv}^2 + u_{cv}^2,$$

$$W = \sqrt{v_{cs}^2 + u_{cs}^2} .$$

Таким образом, на каждом заданном участке трассы определяются истинные скорости ВС.

Описывается структура GRIB файлов. GRIB (GRIdded Binary) — математический формат сжатых данных. Разрабатываются алгоритмы расшифровки каждого раздела GRIB файлов. Разрабатывается алгоритм получения расшифровки GRIB файлов.

#### Алгоритм получения и расшифровки GRIB файла

Для эффективного использования воздушного пространства нашей страны необходимо учитывать метеоусловия на всех этапах полета. Чтобы выполнить это требуется иметь прогноз погоды для всей траектории полета ВС. Для этого необходимо регулярно получать метео-информацию для всей территории РФ.

В настоящее время метеорологическая информация является важным компонентом обеспечения безопасности полетов. Несмотря на значительные достижения в области метеорологических наблюдений и прогноза опасных для полетов метеорологических явлений, более 30% серьезных авиационных инцидентов и 40% авиационных происшествий с человеческими жертвами связаны с влиянием метеорологических факторов на полеты ВС. Одной из основных причин авиационных происшествий и катастроф является быстрое устаревание метеорологической информации, а также недостаточная достоверность прогнозов погоды как по маршруту полетов самолетов, так и в районе аэродрома.

Для эффективной организации потоков воздушного движения и расчетов маршрута полета централизованными органами ОрВД, уже давно возникла необходимость использовать в качестве исходных данных цифровые прогнозы ветра и температуры воздуха на высотах.

С целью получения такой информации в 80-е годы ИКАО обратилась в Всемирную метеорологическую организацию (ВМО) с просьбой учредить Всемирную систему зональных прогнозов (ВСЗП) для того, чтобы поставлять странам-участникам единообразную прогностическую информацию о ветре, температуре, давлении и влажности на высотах, необходимую для использования в автоматизированных системах планирования полетов.

ВСЗП была образована в 1986 году и в настоящее время состоит из двух центров ВЦЗП, расположенных в Лондоне и Вашингтоне, которые четыре раза в сутки производят глобальные прогнозы по ветру, температуре и влажности, а также особых явлений погоды для эшелонов полетов. Существует также множество метеоцентров на территории РФ. Их расположение показано на рисунке 2.

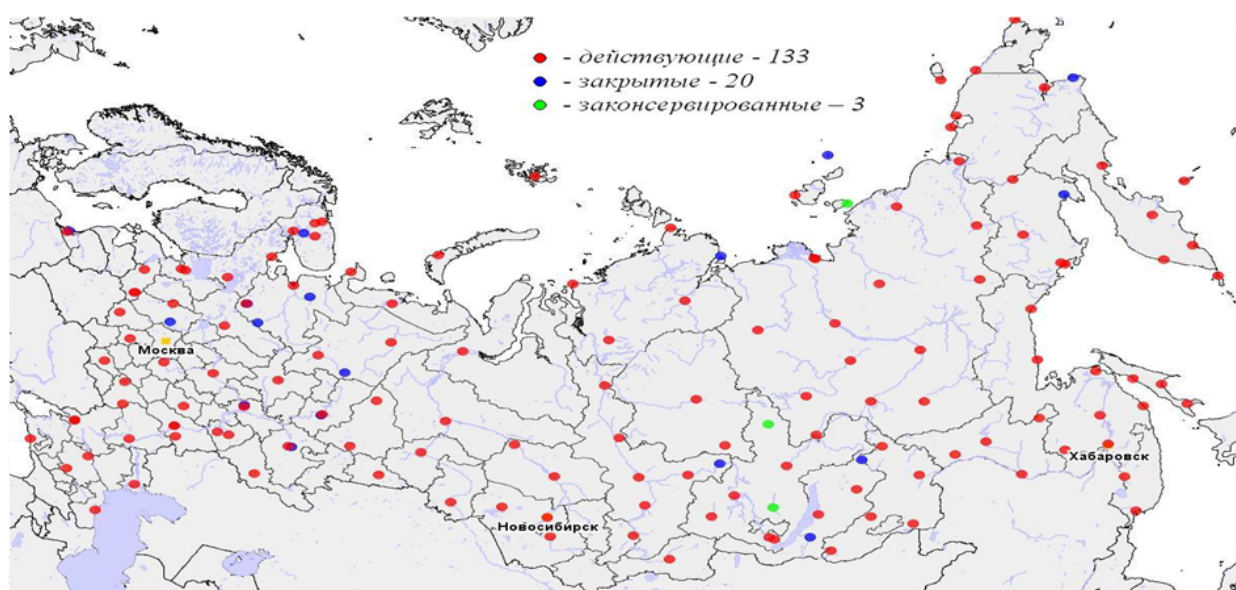


Рисунок 2 - Аэрологическая сеть РФ

Собранная метео-информация распространяется в электронном виде. Это файлы в специальном формате GRIB, который заменил Aeronautical Data Format (ADF) - аэронавигационный формат данных.

GRIB (GRIdded Binary) — математический формат сжатых данных, обычно используемый в метеорологии для хранения исторических и прогнозируемых данных о погоде. Он был стандартизирован комиссией по основным системам ВМО, известен под номером GRIB FM 92-IX и описан в 306 номере руководства ВМО по кодам.

Алгоритм получения и использования метео-информации представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Алгоритм обработки метео-информации

Метеоцентр формирует данные по климату и прогноз погоды в файлы с GRIB структурой.

Описывается разработка алгоритма работы дешифратора метеоданных для системы управления полетами по эшелонам.

Разработана концепция использования облачных вычислений при построении синоптических карт.

Синоптическая карта (карта погоды) – это географическая карта, на которую цифрами и определёнными символами нанесены данные одновременных наблюдений за погодой у поверхности Земли и на определённых уровнях атмосферы. Синоптическая карта может охватывать территорию от небольшого района до полушария или всего Земного шара.

Синоптические карты составляются на основе регулярных наблюдений за погодой на метеорологических станциях. Наблюдения передаются в центральные учреждения службы погоды в виде специальных метеорологических телеграмм. При составлении синоптических карт каждая телеграмма дешифрируется, и её содержание наносится на карту в виде цифр и символов, отражающих условия погоды у поверхности Земли и сведения об облаках [29].

Для составления точных синоптических карт необходимы огромные вычислительные ресурсы. Обработка собранных метеоданных обычно выполняется на специальных вычислительных комплексах - суперкомпьютерах. Данные устройства имеют очень высокую цену, а темпы развития вычислительных мощностей колоссальны. В связи с этим становится

не выгодно использовать суперкомпьютеры для обработки метео-информации и для составления синоптических карт.

Альтернативой могут стать облачные вычисления.

Облачные вычисления - это вычислительная модель, обеспечивающая быстрый, простой и удобный сетевой доступ к пулу вычислительных ресурсов по требованию, причем такой доступ требует минимального привлечения администраторов или сервис провайдеров.

**В третьей главе** описывается модели системы расшифровки и структурирования метеоданных. Описывается разработка конвертора GRIB формата метеоданных с использованием языка UML и RUP. Представлены диаграммы вариантов использования, последовательности действий и состояний модуля системы расшифровки и структурирования метеоданных. Описан алгоритм создания базы данных.

#### Модель вариантов использования комплекса дешифратор метеоданных в формате GRIB

Дешифратора метеоданных – это система, состоящая из трех связанных модулей. Модуля получения метео-информации, модуля расшифровки и модуля структурирования расшифрованных метеоданных. Основная задача дешифратора получить метео-прогноз, который поступает из метео-центра в специальном формате GRIB, расшифровать данные, хранящиеся в файлах, полученных из метео-центра, и структурировать информацию в базу данных. Далее информация из базы данных будет использована системой управления полетами по эшелонам для оптимизации использования воздушного пространства.

Принципы работы дешифратора метеоданных представим в виде совокупности следующих диаграмм:

- Диаграмма вариантов использования дешифратора, отображающая взаимодействие между вариантами использования, представляющими функции системы, и действующими лицами, представляющими людей или системы, получающие или передающие информацию в данную систему.
- Диаграмма последовательности действий дешифратора, отражающая поток событий, происходящих в рамках варианта использования.
- Диаграмма классов дешифратор метеоданных в формате GRIB, отражающая взаимодействие между классами системы.
- Диаграмма компонентов дешифратора метеоданных в формате GRIB, показывающая как выглядит модель системы на физическом уровне.
- Диаграмма развертывания дешифратора метеоданных в формате GRIB, показывающая физическое расположение различных компонентов системы в сети [26].

В данном разделе рассмотрена диаграмма вариантов использования дешифратор метеоданных в формате GRIB, рисунок 4.

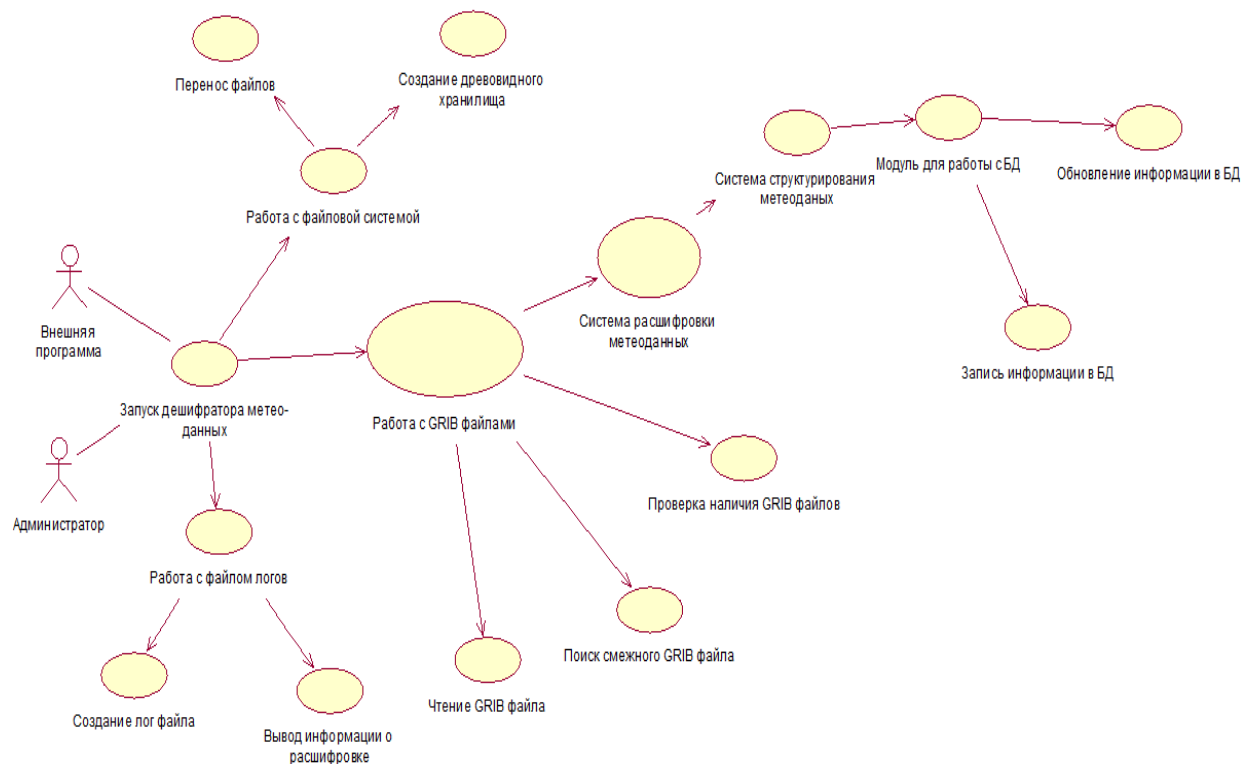


Рисунок 4 – Диаграмма вариантов использования дешифратор метеоданных в формате GRIB

Проанализировав диаграмму вариантов использования, поясним с помощью диаграммы последовательности наиболее важные для нас прецеденты для анализа процесса расшифровки метеоданных. Данная диаграмма представлена на рисунке 5.

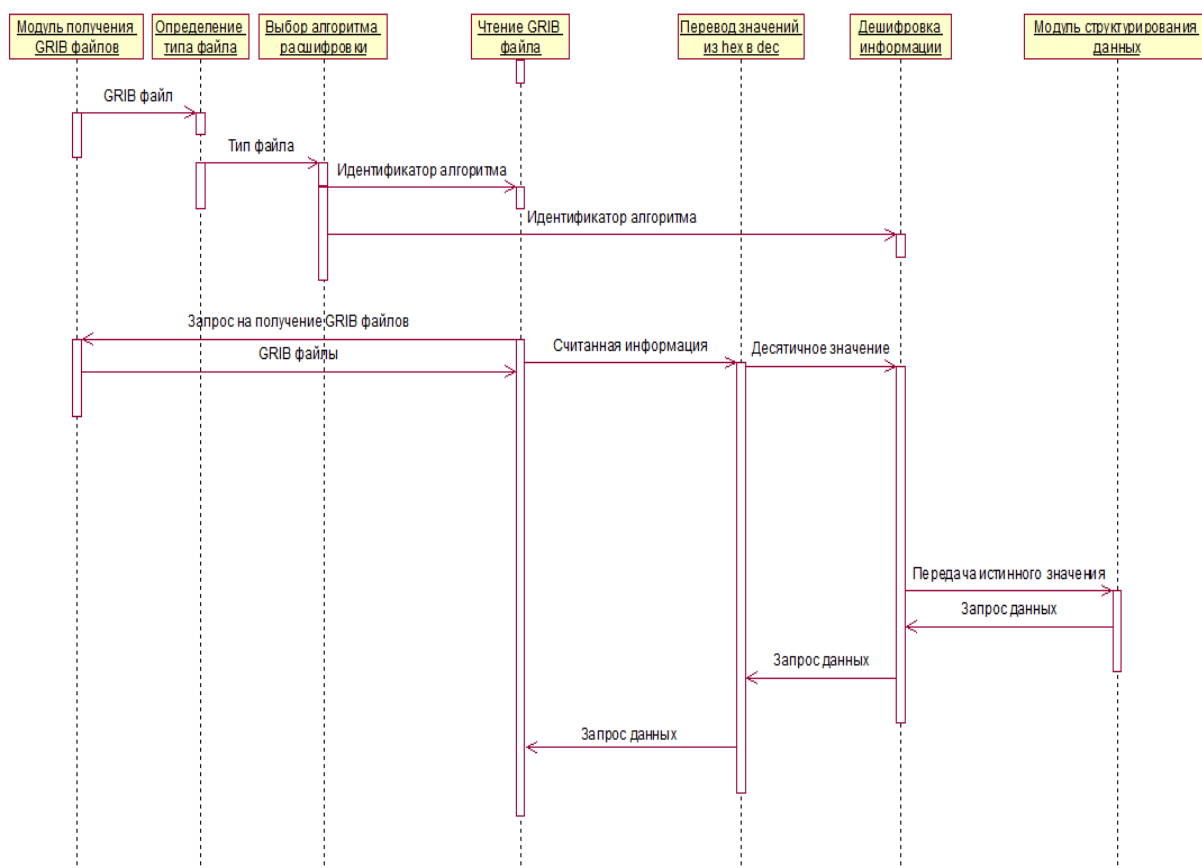


Рисунок 5 – Последовательность действий системы расшифровки метеоданных

Для развертывания дешифратора метеоданных в формате GRIB необходимо создать в базе данных схему содержащие таблицы необходимые для работы системы. Поскольку в качестве СУБД может использоваться одна из популярных коммерческих реляционных СУБД (Oracle, MS Server, DB2), то для создания таблиц схемы разработаны скрипты на языке SQL. Язык SQL используется как универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных [28]. В ходе работы была разработана логическая и физическая модель, отражающие связи между сущностями и таблицами. Физическая модель была разработана для СУБД Oracle 11.x. В ней содержится информация обо всех объектах базы данных. Физическая модель данных для системы представлена на рисунке 6.

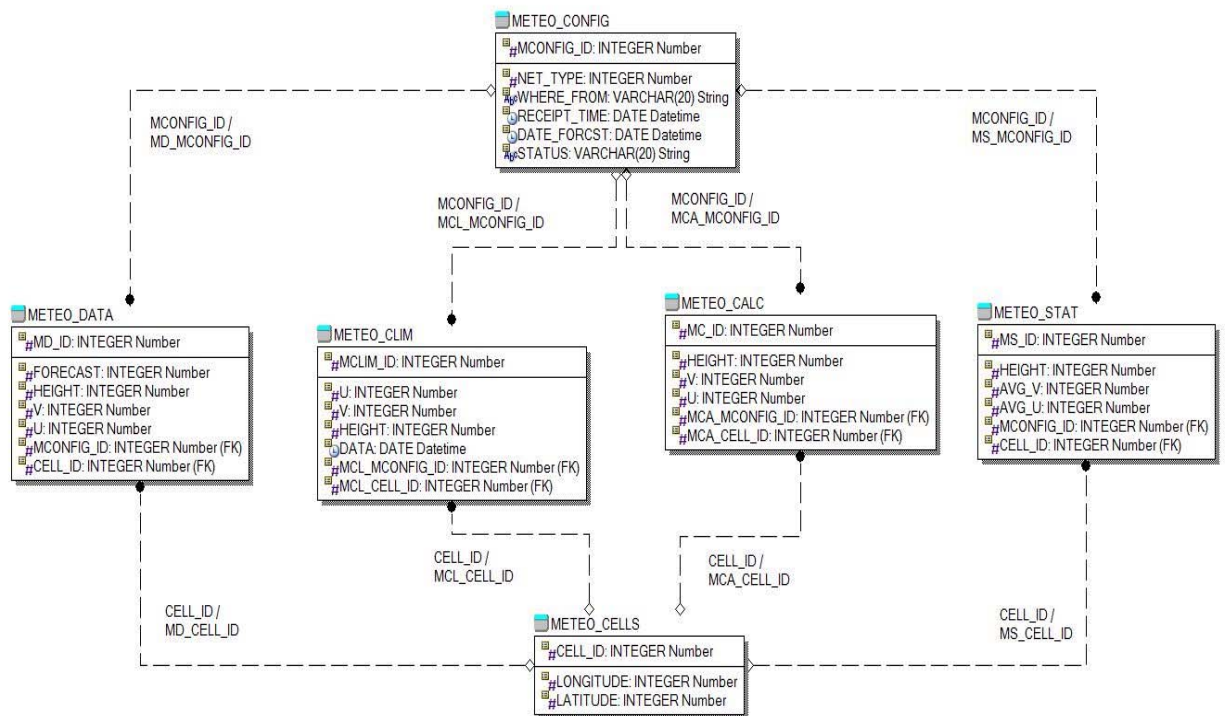


Рисунок 6 – Физическая модель данных для системы дешифратора

На основе разработанной физической модели данных были созданы и протестированы скрипты на языке SQL структуры METEO, необходимой для работы дешифратора, рисунок 7.

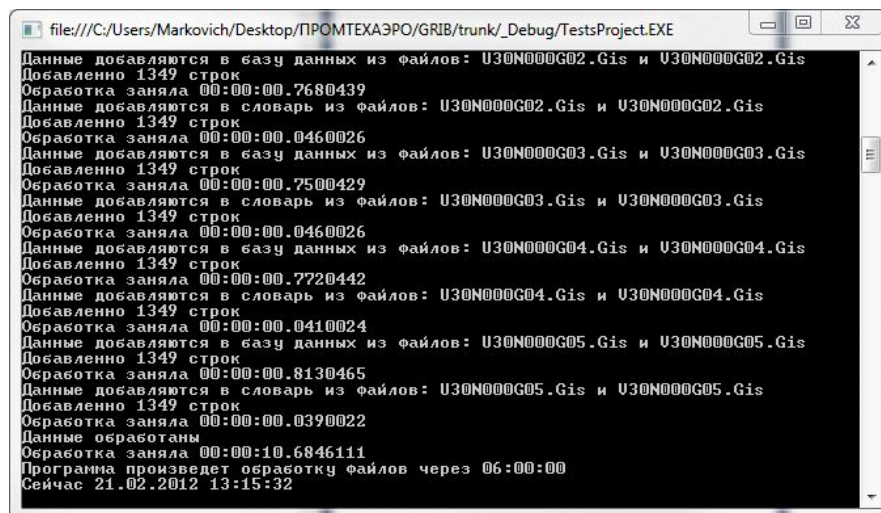


Рисунок 7 – Внешний вид консоли во время работы дешифратора

**В четвертой главе** описывается функциональное тестирование разработанного программного обеспечения. Описывается разработка методики тестирования. Производится обработка полученных результатов, и делаются выводы.

#### Структура и состав экспериментального стенда для тестирования дешифратора метеоданных в формате GRIB

После создания дешифратора метеоданных необходимо провести тестирование созданной системы. Для этого был разработан специальный экспериментальный стенд. Структура экспериментального стенда представлена на рисунке 8.



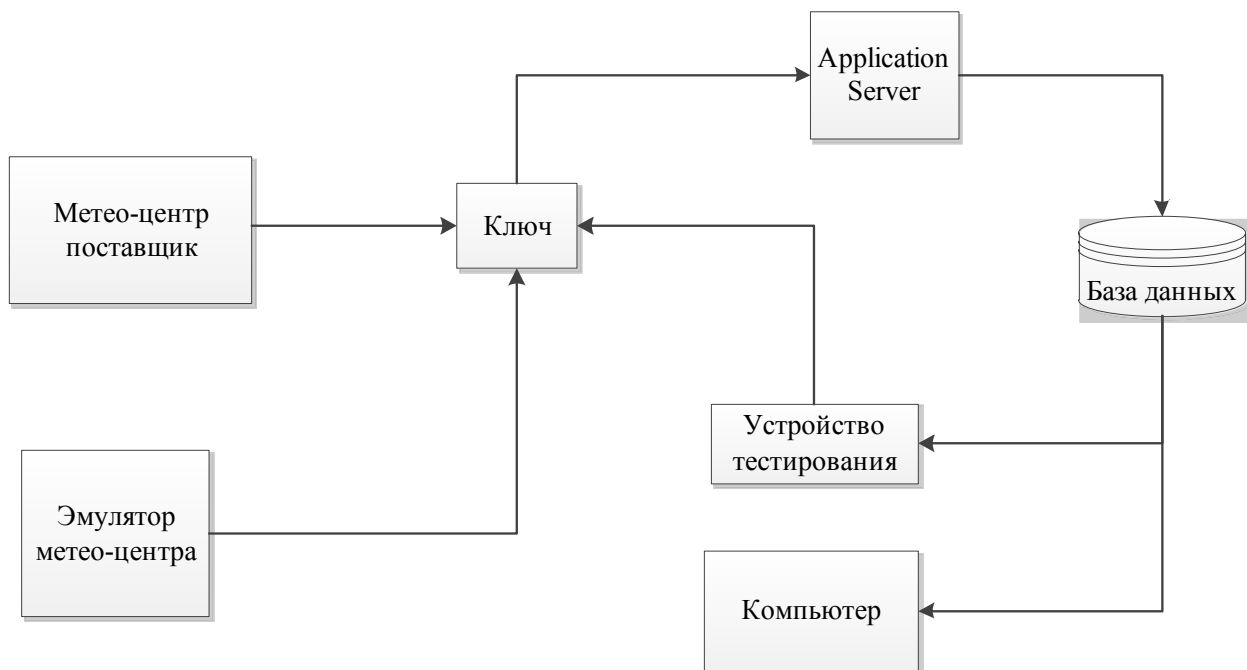


Рисунок 8 – Структура экспериментального стенда для тестирования дешифратора метеоданных в формате GRIB

Из метео-центра каждые 6 часов поступают прогнозы погоды в зашифрованном формате GRIB. На Application server установлена операционная система семейства Linux или Windows. Так же на сервере запущен разработанный дешифратор метеоданных. Тестирование производилось на операционных система CentOS 6.2 и Windows Server 2008.

Приведенная в данном разделе методика тестирования позволяет не только проверить работоспособность разработанного продукта, но и соответствие ее требованиям диаграммы вариантов использования. Работа дешифратора GRIB формата метеоданных была протестирована на нескольких пробных GRIB файлах разной версии, хранящих метеопрогнозы. Результатами проверок стало заключение о том, что разработанное программное обеспечение работает правильно. Верификация результатов работы дешифратора метеоданных показала полную идентичность полученных результатов и эталонных.

В ходе тестирования проводилась визуализация полученных метеоданных, рисунок 9.

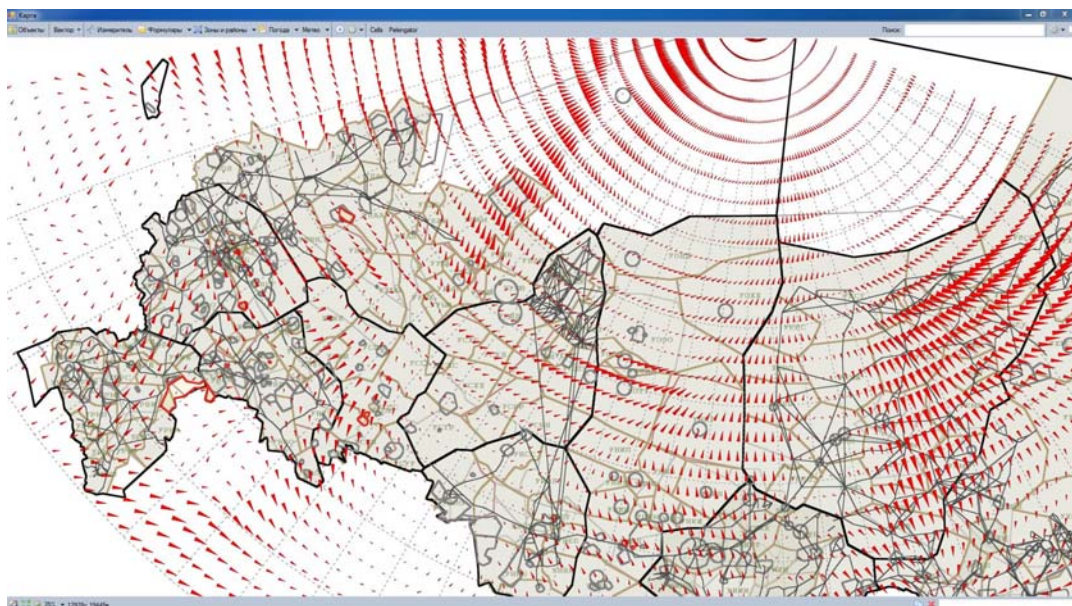


Рисунок 9 – Визуализация полученных метеоданных на карте России

Анализ результатов работы системы показал, что разработанный программный продукт может быть эффективно использован как модуль системы управления полетами по эшелонам.

#### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:**

- 1) Проведен анализ текущей службы обработки планов полетов, выявлены проблемы с поступающей информацией заключающиеся в отсутствии механизма влияния со стороны центров ЕС ОрВД на поступающую в органы ОВД плановую информацию, что не позволяет добиваться их корректности, полноты и своевременности;
- 2) Разработана структура новой автоматизированной централизованной системы обработки планов полетов, решающей проблемы текущей системы и построенной на двух основных принципах: централизации сбора и распространения плановой информации по своей зоне ответственности и реализации обратной связи с органом, подающим сообщения;
- 3) Разработан конвертор GRIB формата метеоданных, позволяющий автоматически получать, расшифровывать и структурировать актуальную метеоинформацию, зашифрованную в GRIB метео файлы. Данный модуль будет использован в системе обработки планов полетов по эшелонам. Модуль. Целью модуля является получение актуальной метеоинформации и передачи ее системе обработки планов полетов по эшелонам, для более точной организации воздушного движения;
- 4) Проведено тестирование программного обеспечения, которое показало, что разработанное ПО функционирует без ошибок и поставленные задачи выполняет.

#### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Ривкин А.М., Модель полета воздушных судов на эшелоне. // Наука и образование электронное научно-техническое издание, 2011г. Москва.
2. Ривкин А.М., Оптимизация использования воздушного пространства при помощи метеоинформации по GRIB // Сборник научных трудов 14-ой Международной научно-технической конференции "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы", 2012г. Москва.