



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

ФАКУЛЬТЕТ Авиационных систем и комплексов

КАФЕДРА ОРТЗИ

Направление подготовки 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация
(код и наименование направления подготовки)
авиационной и ракетно-космической техники

Направленность 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Подсистема поддержки полетного диспетчерского управления
рейсами авиакомпаний

Обучающийся:

Данченко А.В.
(Ф.И.О.)

Данченко
(Подпись)

Научный руководитель:

к.т.н., доцент Актонов А.А.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

Актонов
(Подпись)

Рецензенты:

к.т.н., доцент Благодарцев И.В.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

Благодарцев
(Подпись)

Доцент, к.т.н. Соболев А.В.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

Соболев
(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

Заведующий
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

Заведующий
(Подпись)

МОСКВА 2023

Актуальность научно-квалификационной работы (НКР).

Повышение плотности и интенсивности воздушного движения сильно усложняют обстановку в связи с огромным количеством информации, которую необходимо переработать в процессе управления воздушным движением, что распространённые в настоящее время способы управления воздушным движением оказываются малоэффективными. При этом диспетчеры работают с максимальной загрузкой в условиях острого дефицита времени. Сложность процессов управления, подверженность воздействию среды и ее динамичность требуют от полетных диспетчеров одновременного решения нескольких самостоятельных задач, различных по своей важности и характеру. При этом возникают случаи, когда способ действия по решению данных задач отсутствует. Поэтому разработка подсистем поддержки полетного диспетчерского управления, вырабатывающих прогнозы воздушной обстановки, рекомендаций диспетчеру, а также различного рода оптимальных решений в процессе управления воздушным движением приобретает большое практическое значение.

Вопросам автоматизации процессов управления воздушным движением и разработки перспективных систем управления воздушным движением посвящено значительное число научных работ, в том числе, таких известных отечественных и зарубежных авторов, как Т. Г. Анодина, А. И. Волевач, Г. А. Крыжановский, А. А. Кузнецов, С. М. Федоров, Г. Винсент, Х. Маринус и др. Повышение уровня автоматизации УВД в целях обеспечения безопасности полетов и эффективности использования воздушного пространства является одной из важных задач в разработанной международной организацией гражданской авиации ИКАО концепции CNS/АТМ.

Существующая схема оперативного управления чартерными рейсами российских авиакомпаний сталкивается с проблемами в скорости принятия решений и качестве принимаемых решений. Ограниченные временные

ресурсы и разрозненный поиск информации между различными подразделениями авиакомпании являются одной из главных причин возникновения проблем. Также следует отметить, что текущая схема управления рейсами имеет недостатки, связанные с множеством этапов передачи информации и потерей точности исходных данных. В результате возникает необходимость дополнительных усилий и времени для уточнения информации, что может приводить к задержкам в выполнении полетов.

Для решения описанных проблем необходимо оптимизировать методы принятия решений на чартерных рейсах, учитывая сложности и изменения в географии, чтобы обеспечить безопасность и минимизировать задержки при оперативном управлении рейсами авиакомпании. Улучшение процесса принятия решений и расширение набора рассматриваемых вариантов может помочь снизить риски и повысить экономическую эффективность чартерных рейсов авиакомпаний.

Одним из возможных решений является внедрение подсистем поддержки полетного диспетчерского управления, которые позволят автоматизировать процесс принятия решений и предоставлять полетным диспетчерам точную и актуальную информацию. Такие системы смогут анализировать данные о состоянии самолета, погоде, воздушном пространстве и других факторах, позволит формировать оптимальные по заданным критериям решения задач полетного диспетчерского управления, снижая нагрузку на полетного диспетчера и автоматизируя рутинные операции в части построения маршрутов перевозки грузов воздушным судном.

Практическое внедрение подсистем поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании сопряжено с трудностями разработки моделей и алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности информации о состоянии внешней среды, объекта управления и его реакциях на управляющие воздействия, многовариантности

решений, а также трудностями интеграции разработанного программного обеспечения в комплекс средств управления воздушным движением. Одним из вариантов решения данной проблемы является формирование модульной структуры подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления с открытым интеграционным API шлюзом. Другие трудности связаны с определением места и роли подсистем поддержки полетного диспетчерского управления в процессе управления воздушным движением, организацией взаимодействия диспетчера и системы при принятии решений.

Одним из вариантов решения данной проблемы и повышения эффективности оперативного управления рейсами авиакомпаний рассматривается объединение функций различных служб авиакомпании в одно подразделение полетных диспетчеров. Однако, такое объединение служб может привести к информационной перегрузке и затруднениям в управлении рейсами в реальном времени. Для снижения информационной нагрузки и повышения эффективности управления рейсами авиакомпаний, в работе рассматривается разработка процессной модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании.

Согласно данным международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), объем чартерных рейсов составляет менее 5% от общего годового объема авиаперевозок по всему миру. В связи с этим, проведение практических исследований по оптимизации управления воздушным движением и информационному обеспечению чартерных рейсов авиакомпаний в России и за рубежом остается недостаточным.

Кроме того, развитие технологий и их применение в авиационной отрасли могут значительно улучшить ситуацию с управлением рейсами и повысить безопасность полетов на чартерных рейсах. Внедрение современных систем автоматизации управления полетами и информационных технологий позволит диспетчерам получать более точную и актуальную информацию о состоянии воздушного судна, метеорологических условиях, а

также о состоянии воздушного пространства. Это в свою очередь позволит принимать обоснованные и своевременные решения при управлении рейсами, снижать риски аварийных ситуаций и минимизировать возможность задержек в выполнении полетов.

В итоге, реализация эффективного оперативного управления рейсами авиакомпаний является важной задачей для обеспечения безопасности и экономической эффективности полетов. Разработка процессной модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами, внедрение современных информационных технологий и использование систем автоматизации управления полетами играют ключевую роль в достижении данной цели. Дополнительные исследования и разработки в данной области позволят совершенствовать методы управления рейсами, минимизировать риски и обеспечивать более безопасные и эффективные полеты на чартерных рейсах авиакомпаний.

Объектом исследования является система полетного диспетчерского управления воздушным движением и информационного обеспечения рейсов авиакомпании, являющаяся неотъемлемой частью авиатранспортной системы гражданской авиации.

Предмет исследования - способы автоматизации процесса поддержки полетного диспетчерского управления и информационного обеспечения рейсов авиакомпании.

Цель работы — повышение качества принимаемых решений при полетном диспетчерском управлении чартерными рейсами авиакомпании с целью обеспечения безопасности и экономичности полетов.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- 1) анализ проблем принятия решений в системе полетного диспетчерского управления воздушным движением при осуществлении чартерных рейсов;

2) разработка основ теории представлений объектов предметной области для моделирования процессов управления воздушным движением;

3) разработка процессной модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления воздушным движением для определения способов оптимизации процессов принятия решения в данной системе управления;

4) разработка способов автоматизированного определения оптимального по выбранному критерию решения в задачах полетного диспетчерского управления рейсами АК для обеспечения безопасности и экономичности полетов АК.

Методы исследования, применяемые в работе - методы общей теории систем, тензорной методологии, элементы теории оптимизации и принятия решений при многих критериях, а также теории иерархических систем, теория множеств, теория ситуационного управления.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней:

1) разработана концептуальная и процессная модель подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления воздушным движением при осуществлении рейсов чартерной авиакомпания;

2) разработан и реализован программный инструментарий по решению задач поддержки полетного диспетчера при диспетчерском управлении воздушным движением при осуществлении чартерных рейсов коммерческой авиакомпании.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты позволяют:

1) сократить временные затраты на подготовку экипажа к вылету вне базового аэродрома при чартерных рейсах.

2) сократить временные затраты на поиск оптимального решения в задачах полетного диспетчерского управления воздушным движением, в том числе:

- определение маршрута авиаперевозки на этапах согласования контракта чартера с заказчиком;
- определение маршрута стыковки рейсов на этапах формирования графика движения ВС при чартерных рейсах;

Научно-квалификационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первом разделе рассматривается проблема принятия решений в системах управления авиатранспорта. Проводится анализ достижений в автоматизации процессов поддержки принятия решений в авиационных системах управления реального времени. Рассмотрены цели функционирования подсистем управления в авиатранспортной системе, включающие в себя:

- 1) Предоставление консультаций и информации экипажам, чтобы обеспечить безопасное и эффективное выполнение полетов.
- 2) Обеспечение оптимального эшелонирования полетов ВС, которые выполняют полеты по приборам.
- 3) Предотвращение столкновений ВС между собой и с другими материальными объектами в воздухе, а также столкновений с препятствиями на площадке маневрирования аэродрома.
- 4) Регулирование воздушного движения и обеспечение его экономичности.
- 5) Уведомление соответствующих служб и организаций о воздушных судах, нуждающихся в помощи поисково-спасательных служб, и оказание необходимого содействия этим службам и организациям.

Основной целью функционирования системы полетного диспетчерского управления рейсами АК является организация безопасной и экономичной эксплуатации ВС АК. Для достижения этих целей система полетного

диспетчерского управления рейсами АК использует различные методы и технологии, такие как автоматическая система управления полетами, система планирования полетов, система мониторинга полетов и другие.

Проводится анализ противоречия целей подсистем управления в авиатранспортной системе. Подсистемы управления воздушным транспортом стремятся обеспечить безопасность полетов и эффективность экономических ресурсов, но часто эти цели могут конфликтовать между собой. Чтобы достичь баланса между ними, каждая подсистема управления авиатранспортной системы решает уникальную комбинацию задач, учитывая аспекты безопасности и экономичности. Для достижения баланса между экономической эффективностью и безопасностью полетов, подсистемы управления авиатранспортной системы должны работать совместно и оптимизировать свои задачи, учитывая различные факторы, такие как трафик, метеоусловия и доступность аэропортов. Непрерывное совершенствование технологий и методов управления также необходимо для обеспечения безопасности и эффективности воздушного транспорта.

Проводится анализ поиска и принятия решения при управлении в авиатранспортной системе на основе опосредованной информации. Для успешного управления в авиатранспортной системе необходимо иметь информацию о фактическом состоянии системы управления. Если лицо, принимающее решение не обладает достаточной информацией о системе управления, то принятое им решение может быть неверным и ухудшить ситуацию. Чтобы избежать таких ситуаций, в системах управления необходимо обеспечить постоянную или периодическую ситуационную осведомленность лица, принимающего решение о состоянии системы управления. Ситуационная осведомленность представляет собой информацию о сочетании параметров, которые характеризуют состояние системы управления в определенный момент времени. Для обеспечения постоянной ситуационной осведомленности лица, принимающего решения о

состоянии системы управления, используются различные средства и системы, такие как дисплеи ситуационной информации, автоматические системы оповещения, а также системы управления информацией. Эти системы помогают лицу, принимающему решение получать актуальную информацию о состоянии системы управления и принимать эффективные решения в любой ситуации.

$$S_{ij} = \{ < t_j, p_{ij} > | i = 1, 2, \dots M \},$$

где S_{ij} - ситуация i -го типа в СУ, t_j - j -й момент времени, p_{ij} - множество значений параметров, определяющих ситуацию i -го типа в j -й момент времени, M - общее количество p_i .

Под ситуационным управлением понимается принятие и реализация решений на основе информации о ситуации в период принятия решения.

Проведен анализ поиска и принятия решений в системах управления в реальном времени. Для решения задач принятия решений в реальном времени предлагается использовать средства автоматизации поиска вариантов и поддержки принятия решений диспетчера в выбранных системах управления. Взаимосвязь проблем управления в этих системах позволяет искать единые способы их решения. Один из таких подходов - создание подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании.

Подсистема поддержки полетного диспетчерского управления играет важную роль в решении задач управления в авиационной технике. Эта система позволяет автоматизировать поиск и выбор оптимальных решений, что особенно важно в ситуациях, когда протекающие процессы быстро меняются, а время на принятие решения ограничено. Таким образом, подсистема поддержки полетного диспетчерского управления позволяет полетному диспетчеру быстро получать информацию о текущей ситуации в системе управления и выбирать оптимальные решения, основываясь на знаниях, которые хранятся в базе знаний подсистемы поддержки. Это

упрощает процесс управления и помогает избежать ошибок, которые могут привести к серьезным последствиям в авиационной технике.

Во втором разделе осуществляется разработка процессной модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпаний.

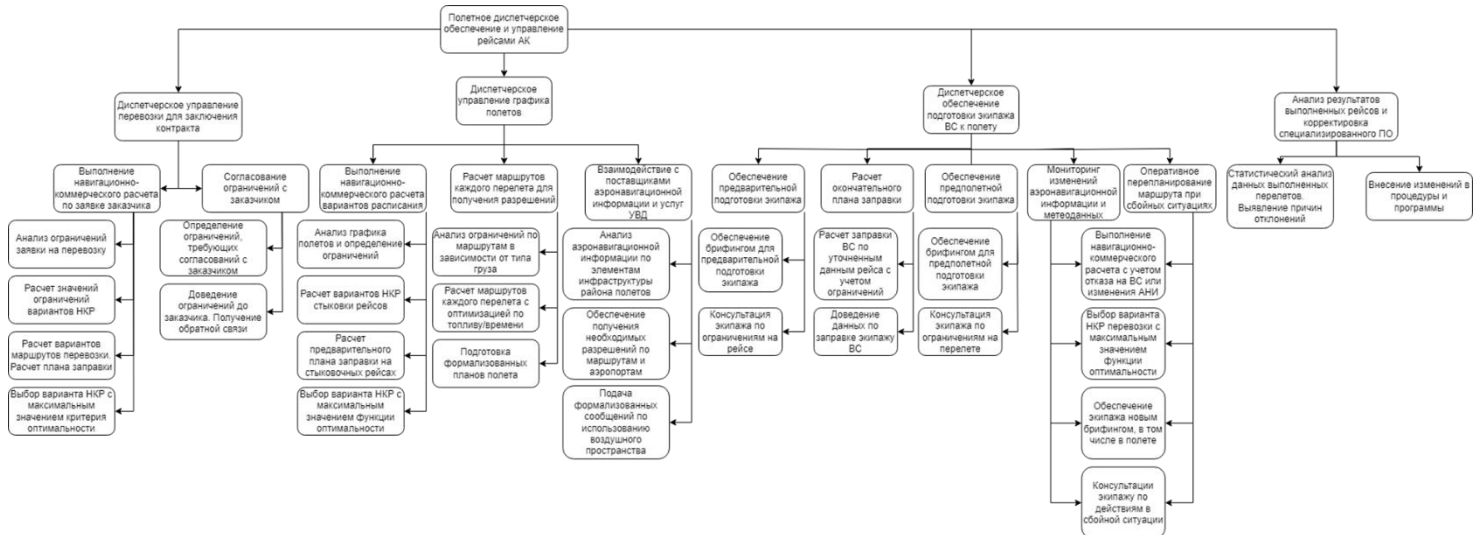


Рис. 1 Процессная модель полетного диспетчерского управления и информационного обеспечения рейсов авиакомпании.

Выполнен анализ структуры, содержания и взаимодействия процедур и операций полетного диспетчерского управления рейсами коммерческой авиакомпании с использованием методов процессного моделирования.

Разработана концептуальная модель подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами АК.

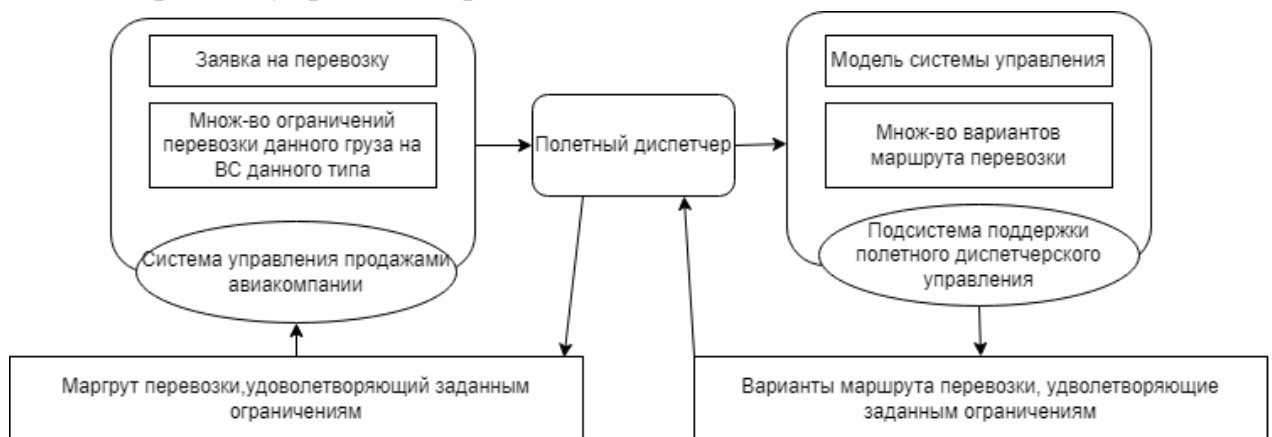


Рис. 2 Схема концептуальной модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании.

Полученные результаты в данном разделе позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Для обеспечения безопасности и экономичности полетов авиакомпания необходима четкая регламентация процедур и операций всех видов управления и обеспечения полетов.

2. Применение полетного диспетчерского управления рейсами с учетом специфики выполняемых авиакомпанией перевозок позволяет получить централизованную, ориентированную на экипаж и заказчика систему управления и информационного обеспечения рейсов авиакомпании.

3. Использование средств автоматизации принятия решения целесообразно для поддержки полетного диспетчерского управления и решения следующих задач полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании:

- Поддержка полетного диспетчера по определению и выбору оптимального маршрута перевозки для заключения контракта.
- Поддержка полетного диспетчера по определению и выбору оптимального маршрута стыковки рейсов при построении расписания чартерных грузоперевозок.

В третьем разделе произведена разработка структуры подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления и разработка методов оптимизации задач, решаемых подсистемой поддержки.

Структура подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления включает в себя следующие основные модули подсистемы:

- модуль оценки оптимальности найденных решений;
- модуль вычисления расстояний между аэропортами;
- модуль поиска пригодных аэродромов для решения задачи управления;

- модуль расчета маршрутов перевозки с минимальной себестоимостью;
- модуль расчета расписания полетов.

В данном разделе рассмотрена реализация подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления в части расчета вариантов маршрутов перевозки груза воздушным судном. В подсистеме осуществляется поддержка принятия решений при расчете по различным критериям оптимальности, включая минимизацию времени перевозки, минимизацию себестоимости, минимизацию дистанции полета воздушного судна под загрузку, максимизацию массы загрузки и минимизацию числа промежуточных посадок.

Для решения задач оптимизации применяются различные методы оптимизации, включая алгоритм Дейкстры, алгоритм линейного программирования и алгоритм математического программирования с одним критерием.

В результате подсистема осуществляет расчет оптимального варианта маршрута перевозки груза воздушным судном и предоставляет его полётному диспетчеру на основе выбранного критерия оптимальности. Если в рамках задачи управления необходимо минимизировать время перевозки, то оптимальным вариантом будет маршрут с наименьшим временем полета. Если же важна минимизация себестоимости, то оптимальным вариантом будет маршрут с наименьшей себестоимостью перевозки груза. Если требуется максимизировать массу загрузки, то оптимальный маршрут должен быть выбран с учетом максимальной грузоподъемности воздушного судна. А если необходимо минимизировать число промежуточных посадок, то оптимальным маршрутом будет тот, который имеет наименьшее число промежуточных посадок.

В четвертом разделе описана реализация модели подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании, реализующая поддержку полетного диспетчера в следующих задачах:

- определение маршрута перевозки для заключения контракта чартерной перевозки.
- определение маршрута стыковки рейсов для подготовки расписания чартерных перевозок.

В данном разделе описано обеспечение автоматизации группы операций полетного диспетчера:

- определение пригодных аэродромов в соответствии с заданным критерием оптимальности решения задач определения маршрута перевозки и маршрута стыковки рейсов и ограничениями.
- построение оптимального по заданному критерию маршрута выполнения перевозки в задаче определения маршрута перевозки.
- построение оптимального по заданному критерию маршрута стыковки рейсов для формирования графика движения воздушного судна.
- расчет оптимального плана заправки воздушного судна и проверка экономичности танкирования топлива.

Разработан способ оптимизации танкирования топлива с использованием решения задач линейного программирования по критерию минимизации стоимости.

Разработан способ оптимизации расчета вариантов маршрута перевозки и плана заправки ВС с использованием алгоритма Дейкстры и задач динамического программирования по различным критериям оптимизации.

Основные результаты научно-квалификационной работы сводятся к следующему:

В работе проведен анализ проблем управления и принятия решений полетным диспетчером в авиатранспортной системе на примере следующих подсистем:

- непосредственное выполнение полета.
- непосредственное управление воздушным движением;
- полетное диспетчерское управление рейсами авиакомпаний.

Предложена организационная модель системы полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпаний при международных чартерных перевозках.

Разработана процессная модель подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпаний.

Предложены способы отбора решений в условиях полной и неполной информации с оценкой оптимальности решений полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпаний.

Разработана модель подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпаний, реализующие решение следующих задач:

- поддержка решения полетного диспетчера по определению маршрута перевозки для заключения контракта на чартерную авиаперевозку.
- поддержка решения полетного диспетчера по определению маршрута стыковки рейсов для построения расписания полетов при чартерных авиаперевозках.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1) Процессы управления в рассмотренных подсистемах авиатранспортной системы имеют схожие особенности, позволяющие отнести эти подсистемы к одной группе динамических систем управления в реальном

времени. Принятие решений выполняется в условиях взаимного противоречия целей функционирования системы управления и необходимости постоянного поиска лицом, принимающим решения (командиром ВС, диспетчером УВД, полетным диспетчером АК), компромисса между взаимоисключающими и ограничивающими факторами с учетом динамически меняющейся информации о ситуации в системе управления.

2) Система полетного диспетчерского управления и информационного обеспечения рейсов является новым методом повышения эффективности эксплуатации воздушных судов российских авиакомпаний при выполнении чартерных перевозок. Система полетного диспетчерского управления рейсов авиакомпании позволяет получить централизованную, ориентированную на экипаж и заказчика систему, имеющую минимальную скорость принятия решений по обеспечению экономичности полетов авиакомпании.

3) Предложенная в данной работе реализация подсистемы поддержки полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании позволяет решить проблему информационной перегрузки полетного диспетчера при решении задач управления и информационного обеспечения чартерных перевозок авиакомпании. Служат средством повышения качества принимаемых полетным диспетчером решений. Направлены на совершенствование методов и средств управления и планирования, повышения эффективности операционной деятельности авиакомпании.