



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

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

**ФАКУЛЬТЕТ** Управления на воздушном транспорте

**КАФЕДРА** Управления воздушным движением

**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** Методы и алгоритмы применения инструментов управления  
воздушным движением для повышения эффективности полетов  
воздушных судов

**Обучающийся:**

Чувиговская Е. К.  
(Ф.И.О.)

(Подпись)

**Научный руководитель:**

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

(Подпись)

**Рецензенты:**

к. в. н., доцент Субботин Р. А.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

г. т. н., проф. Прохоров А. В.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

**Работа допущена к защите:**

**Заведующий кафедрой**

Нечаев В. Н.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

**МОСКВА 2024**

**Актуальность темы.** Приоритетной задачей органов обслуживания воздушного движения является обеспечение безопасности и экономической эффективности полетов воздушных судов. Для этих целей органы обслуживания воздушного движения используют различные инструменты, влияющие на ход выполнения полетов воздушных судов, что иногда может повлечь за собой незапланированные издержки для авиакомпаний.

В целях повышения эффективности использования инструментов при управлении воздушным движением и снижения возможных издержек авиакомпаниями проведено исследование влияния этих инструментов на эффективность полетов воздушных судов при тактическом обслуживании, и разработаны алгоритмы, способствующие оптимальному использованию данных инструментов с учетом интересов пользователей воздушного пространства.

Итогом проделанной работы является разработка алгоритма помощи для создания информационной системы помощи диспетчеру при принятии решений по использованию инструментов диспетчерами управления воздушным движением. Данная система может быть интегрирована в действующие автоматизированные системы управления воздушным движением, что повысит эффективность использования воздушного пространства пользователями воздушного пространства без необоснованного повышения расхода топлива по маршруту.

**Объект исследования.** Орган организации воздушного движения осуществляющий тактическое планирование воздушного движения.

**Предмет исследования.** Организация планирования воздушного движения в РФ.

**Цель исследования.** Разработка и обоснование эффективного использования методов и алгоритмов применения инструментов управления воздушным движением.

**Задачи исследования:**

- определение особенностей организации планирования воздушного движения на всех этапах полета;
- исследование особенностей организации планирования полетов в авиакомпаниях;
- оценка изменения планов полета при обслуживании воздушного движения;
- анализ влияния инструментов управления воздушным движением на эффективность полетов;
- ранжирование инструментов управления воздушным движением с учетом эффективности полетов;
- оценка основных типов воздушных судов, пользователей воздушного пространства РФ;

- обоснование ранжирования инструментов управления воздушным движением по уровню влияния на эффективность полетов;
- разработка алгоритма помощи при выборе инструмента управления воздушным движением с учетом эффективности полетов.

**Методология и методы исследования.** Для получения основных результатов диссертационной работы использованы базовые методы математического анализа. Для оценки эффективности влияния инструментов управления воздушным движением применялся метод сравнения расхода топлива и классификации типов воздушных судов.

### **1. Ранжирование инструментов управления воздушным движением, согласно частоте их применения.**

В соответствии с фразеологией, используемой в документах ИКАО диспетчера управления воздушным движением в целях организации потоков используют инструменты, приводящие к изменению параметров планов полетов. К таким инструментам относятся:

векторение - изменение направление движения воздушного судна путем выдачи ему конкретных курсов полета;

спрямление – разрешение следовать по кратчайшей линии пути в пределах точек маршрута;

изменение эшелона полета – изменение высоты полета относительно заявленной в плане полета;

изменение скорости полета – задание конкретных скоростей, отличных от заданных в плане полета;

ремаршрутизация – изменение маршрута полета, включающее изменение точек пути и воздушных трасс.

Данные инструменты влияют на параметры, заявленные в планах полета (время, точка, высота, скорость), а, следовательно, влекут за собой изменение топливной эффективности полета.

Для оценки процессов организации воздушного движения с использованием инструментов управления воздушным движением, в целях оценки частоты применения и времени применения разработаны опросные листы для летного состава и диспетчеров управления воздушным движением. Данные опросные листы содержали перечень инструментов управления воздушным движением. Респонденты оценивали, как часто во время выполнения полета, план полета подвергается изменениям в связи с использованием инструментов управления воздушным движением, распределить эти инструменты по частоте применения и определить продолжительность их действия.

Полученные экспертные оценки приведены в Таблице 1 (Таблица 1 «Экспертные оценки пилотов и диспетчеров»).

Респонденты	%применения инструментов	% применения для отдельного инструмента					t(min) действия инструмента				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Пилоты	62,5	33	39	26	20	63	25	28	40	28	40
Диспетчера	70	21	50	43	16	77	5	10	15	18	25

Таблица 1 «Экспертные оценки пилотов и диспетчеров» (1-векторение;2-изменение скорости полета;3-изменение эшелона полета;4-ремаршрутизация;5-спрямление.)

По оценкам пилотов, больше половины рейсов (62,5%) подвергаются изменениям, относительно плана полета. Из этих рейсов большая часть (63%) бывает спрямлена на одном или нескольких участках маршрута. Следующим инструментом по частоте использования по результатам опроса пилотов является изменение скорости полета (39%) и векторение (33%). Наименее используемыми являются изменение эшелона полета (26%) и ремаршрутизация (20%).

Согласно данным диспетчеров управления воздушным движением, использование инструментов приходится на 0% рейсов. Из них наиболее часто используемый инструмент спрямление (77%), затем изменение скорости полета (50%). Далее по частоте применения идет изменение эшелона полета (43%). Наименее используемыми, согласно оценкам диспетчеров являются такие инструменты, как векторение (21%) и ремаршрутизация (16%).

Общая картина согласно экспертным по частоте применения инструментов схожа. Различия обусловлены тем что пилоты дают оценку относительно полета, а диспетчера оценивают применение инструментов в конкретном секторе воздушного пространства. Так пилоты могут дать оценку относительно всего полета, а диспетчера управления воздушным движением могут проводить оценку только в пределах своей зоны ответственности. При обработке экспертных оценок выявлена закономерность, согласно которой диспетчера осуществляющие обслуживание воздушного движения на секторах граничащих с секторами подхода московского аэроузла (ближних секторах), наиболее часто применяют такие инструменты как изменение скорости полета воздушного судна и векторение. А диспетчера осуществляющие обслуживание воздушного движения на дальних секторах наиболее часто используют смену эшелона полета и спрямление. Это вызвано разницей в задачах решаемых диспетчерами обслуживания воздушного движения. Так диспетчера ближних секторов наиболее часто сталкиваются с задачей создания очередности для дальнейшего захода на посадку, а диспетчера дальних секторов в основном решают задачи, связанные с

обслуживанием воздушных судов, следующих транзитом или не надающих в выстраивании очередности.

В целом по результатам опроса как пилотов, так и диспетчеров можно сказать, что более половины планов полетов подвержены изменениям во время их выполнения. В связи с тем, что пилоты видят общую картину выполнения рейса, примем их результаты за основу при ранжировании инструментов управления воздушным движением. Получаем следующие данные по частоте применения:

1. спрямление;
2. изменение скорости полета;
3. векторение;
4. изменение эшелона полета;
5. ремаршрутизация.

## **2. Влияние инструментов управления воздушным движением на топливную эффективность.**

Для выполнения расчета топлива была собрана статистика по использованию воздушного пространства московской зоны воздушными судами (Таблица 2 «Воздушные суда выполняющие полеты в московской зоне с 01.06.2023 по 31.08.2023»). Данные статистики включают в себя период с 1 июня 2023 года по 31 августа 2023 года.

Тип воздушного судна	Количество рейсов в % от общего числа за период наблюдения	Количество рейсов в % для схожих типов воздушных судов
A320N	3.769%	20,438
A321N	2.619%	
A319	2.937%	
A320	1.468%	
A321	9.645%	
A333	2.325%	
A359	0.416%	
A388	0.171%	
AN12	0.195%	
AN2	0.954%	
AN26	0.611%	
AN72	0.416%	
B38M	0.734%	25,603

Тип воздушного судна	Количество рейсов в % от общего числа за период наблюдения	Количество рейсов в % для схожих типов воздушных судов
B733	0.416%	
B734	0.22%	
B735	1.346%	
B737	0.66%	
B738	22.227%	
B752	0.44%	
B763	0.881%	
B772	0.318%	3,279
B773	0.244%	
B77W	2.717%	
B788	0.66%	
C172	1.86%	
C182	0.195%	
CRJ2	1.297%	
E170	0.758%	
E190	0.342%	1,321
E195	0.979%	

Таблица 2 «Воздушные суда выполняющие полеты в московской зоне с 01.06.2023 по 31.08.2023»

Статистика собиралась исходя из данных плановой информации автоматизированной системы «Синтез АР-4». В таблицу не вошли воздушные суда выполняющие полеты согласно государственным нуждам, воздушные суда, следующие ниже нижнего безопасного эшелона районного диспетчерского центра и вертолеты. Как видно из Таблицы 2, наибольшее количество рейсов выполняется воздушными судами семейства Боинг и Аирбас.

Что бы понять принцип планирования полетов в авиакомпаниях и порядок расчета топлива, был кратко описан процесс планирования расписания. В настоящее время планирование воздушного движения подразделяется на три этапа: стратегический, предтактический и тактический. Первым этапом планирования воздушного движения является стратегический этап, целью которого является сбор планов полетов от всех заинтересованных пользователей воздушного пространства, для последующего анализа возможности использования воздушного пространства. Этот этап начинается за полгода и

заканчивается за двое суток до дня выполнения рейса. По итогам составленного сезонного расписания, должны быть получены и отправлены на согласование в заинтересованные органы единой системы обслуживания воздушного движения, повторяющиеся планы полётов.

Прежде чем составить сезонное расписание, авиакомпания начинает процедуру по расчету экономической целесообразности полетов по интересующим ее маршрутам. Таким образом, для составления расписания на сезон, информация о планируемом полете должна пройти несколько этапов до получения одобрения в авиакомпании и дальнейшей работы по выполнению этого полёта. Упрощенный вариант этих этапов показан ниже (Рисунок 1 «Этапы одобрения рейсов в авиакомпании»).

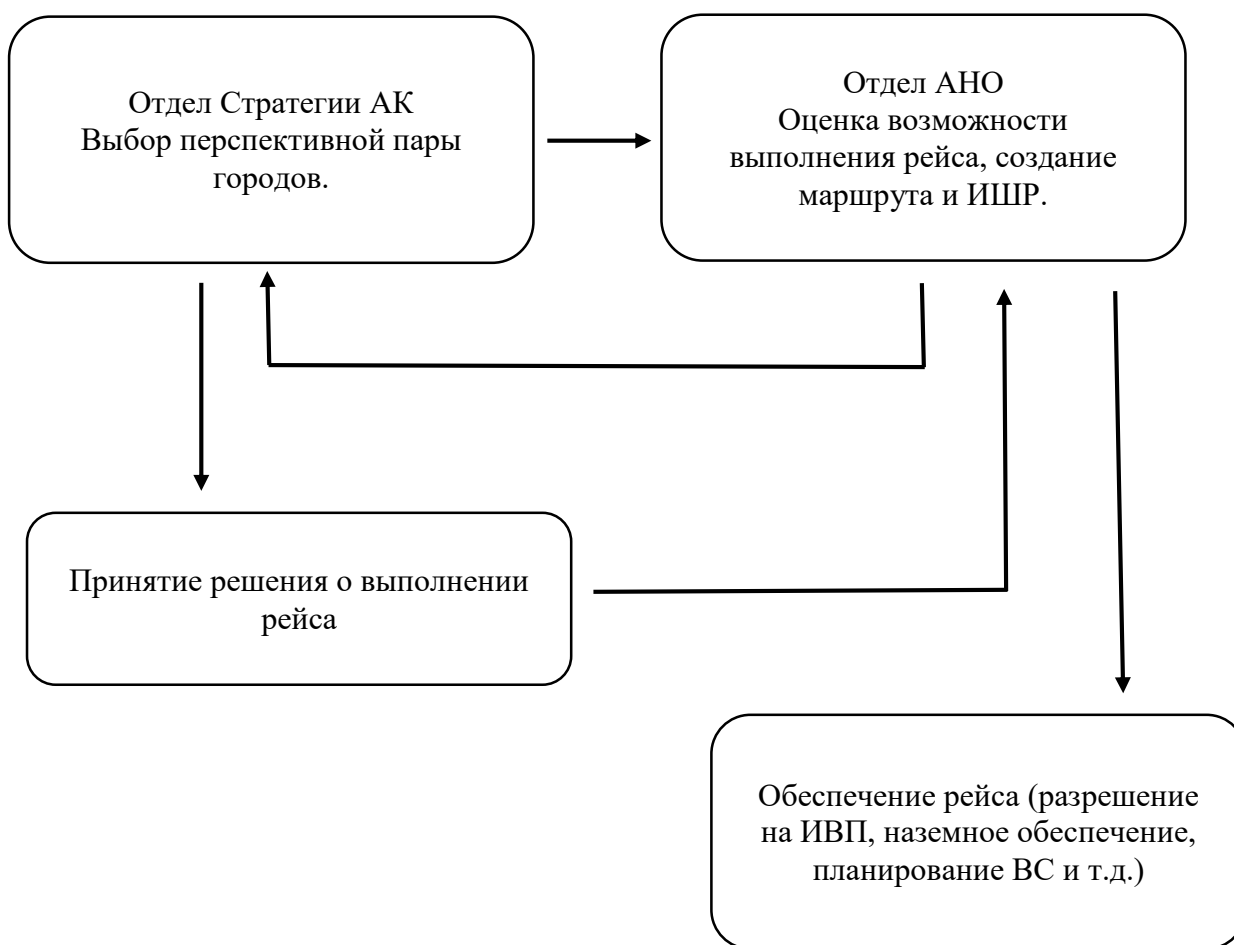


Рисунок 1 «Этапы одобрения рейсов в авиакомпании»

Планирование расписания начинается с выбора интересующих аэродромов прилета/вылета относительно возможного спроса (пассажиропотока) по данному направлению в течении выбранного сезона или на основе социальной функции обеспечения транспортной доступности. После выбора двух аэропортов, информация о них передается в отдел Аэронавигационного обеспечения для определения возможности выполнения рейса между выбранными пунктами и

расчета параметров для определения его себестоимости. Если выполнение рейса между выбранными пунктами возможно, то разрабатывается маршрут полета и выполняется инженерно-штурманский расчет, который включает в себя:

- Время летное/полетное;
- Потребное и расходуемое топливо;
- Предельная коммерческая загрузка;

Так же определяются расстояния по зонам/странам для расчета аэронавигационных сборов.

Подобные расчеты производятся для конкретного типа воздушного судна.

Получив информацию о городах прилёта/вылета начинается оценка возможности выполнения полета. Для выполнения любого рейса авиакомпания должна получить аэродромное разрешение (разрешение оператора аэродрома). В международной практике таким разрешением выступает Слот.

Понятие Слот представляет из себя представляет из себя разрешение для авиакомпании на пользование инфраструктурой аэропорта и разрешение на вылет/прилет в этот аэропорт в определенное время и дату. После бронирования слотов, пользователи воздушного пространства формируют маршрут ВС так, чтобы произвести вылет и посадку в определенное слотом время. При этом регулярные перевозчики как правило стараются выбрать коммерчески наиболее выгодное время (в основном утро и вечер). В свою очередь чартерные перевозчики выбирают оставшиеся или наиболее дешевые слоты. Одной из проблем при составлении расписания авиакомпаниями является возможность неполучения слота в одном из аэропортов в необходимое время. Такое случается из-за чрезмерной загрузки некоторых аэропортов.

Для частичного решения этой проблемы система распределения слотов ИАТА подразумевает правило «исторического прецедента». Согласно нему то компании, что в предыдущий год использовали свой слот эффективно имеют на него приоритет в последующий год. Оставшиеся Слоты распределяются в соответствии с приоритетами.

Так же для наиболее эффективного расчета слотов система ИАТА категоризирует все аэропорты на три группы: полностью координируемые, координируемые и некоординируемые.

Раз в полгода на конференции ИАТА происходит первичное распределение слотов. Свободные слоты передаются в общий фонд, из которого берут слоты компании новички.

Авиакомпания выбирает наиболее выгодное время вылета и прилета относительно возможного спроса (как правило утро/вечер) таким образом, чтобы это было возможно относительно времени пути. После выбора времени информация в заявки отправляется в аэропорты прилета и вылета для получения разрешения.



Количество Слотов в аэропортах напрямую зависит от их технической возможности и рассчитывается индивидуально для каждого. Она рассчитывается относительно пропускной способности инфраструктуры аэропорта, а также возможностей хранения и предоставления топлива для воздушных судов. Однако, одной из проблем такого вида расчета можно считать то, что при расчете технической возможности аэропорта, не учитывается пропускная способность близлежащих секторов (круг, подход), что в дальнейшем может негативно влиять на воздушную обстановку и приводить к задержкам рейсов.

На основании забронированных Слотов создается сезонное расписание авиакомпании. Сезонное расписание подразумевает выполнение данного рейса в определенный период времени с определенной регулярностью.

Далее рейс в виде сезонного расписания снова спускается в отдел аэронавигационного обеспечения для расчета полетных данных, относительно заявленного периода времени и регулярности полетов.

На этом этапе повторно оцениваются:

- возможность использования аэродрома назначения и запасных аэродромов;
- возможность использования воздушного пространства (трасс, действующих ограничений воздушного пространства, маршрутов) в любой из дней расписания.

На основании местоположения выбранных запасных аэродромов рассчитывается необходимое топливо и создаются варианты маршрутов. Самый оптимальный из них становится в регулярный план полета и отправляется в Главный центр Единой системы организации воздушного движения на утверждение. Чем больше вариантов маршрутов полета, тем выгоднее для авиакомпании, так как появляется вариативность при изменении метеоусловий и наличия ограничений использования воздушного пространства, которые оказывают наибольшее влияние на маршрут и запасные аэродромы. На основании поданного в плана получает разрешение на использование воздушного пространства.

Все выполняемые в текущие сутки рейсы относятся к тактическому этапу ПВД. На данном этапе органы организации воздушного движения предпринимают меры по регулированию потоков начиная с изменения времени вылета и заканчивая воздействием на параметры рабочего плана полетов.

Каждый рейс в день выполнения снова подвергается расчету. Новый расчет выполняется относительно текущих условий. На него влияют:

- запас топлива;
- экипаж воздушного судна;
- тип воздушного судна;
- характеристики конкретного воздушного судна, выполняющего данный рейс;

- метеоусловия по маршруту;
- прогноз метеоусловий по маршруту;
- квалификация.

На основании повторного расчета создается фактический план полета. Получается разрешение на конкретный рейс, которое означает, что Главный центр единой системы организации воздушного движения выдал разрешение на выполнение данным рейсом конкретного профиля полета. После этого воздушное судно готово приступить к выполнению рейса.

На этом влияние авиакомпании на изменение фактического плана полета завершён. Далее в режиме реального времени параметры фактического плана полета могут изменяться под воздействием органов обслуживания воздушного движения.

Для расчетов топлива была использована программа «Аэрология». Для правильного расчета топлива необходимо указывать точные данные о воздушном судне, выполняющем рейс, загрузке данного воздушного судна и других параметрах, которые будут действительны только для одного, конкретного рейса. По этой причине были взяты средние значения для каждого типа воздушного судна, по которому выполнялся расчет. Так же выполнение расчета для некоторых воздушных судов было невозможно по технической причине, так как в программе отсутствовали данные по этим воздушным судам.

Для расчета был взят отрезок маршрута ARPUD T750 OKSUD T787 OTKOL URAGO (556nm). Его спрямленные версии при использовании инструмента спрямление ARPUD T750 OTKOL URAGO (551nm) и ARPUD T750 URAGO (546nm). Изменение эшелонов 340 и 360. Для расчета изменений расхода топлива при изменении скорости полета был использован Кост индекс. В Таблице 3 «Расход топлива для разных типов воздушных судов на эшелоне полета 340» и в Таблице 4 «Расход топлива для разных типов воздушных судов на эшелоне полета 360» представлены результаты расчета.

Тип ВС	ARPUD T750 OKSUD T787 OTKOL URAGO (556nm)				ARPUD T750 OTKOL URAGO (551nm)				ARPUD T750 URAGO (546nm)			
	FL 340				FL 340				FL 340			
	Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02			
	30	20	10	0	30	20	10	0	30	20	10	0
A320N	1162 /78	1142 /77	1118 /76	1115 /74	1141 /78	1120 /77	1097 /76	1094 /74	1115 /78	1094 /77	1071 /76	1068 /74
A321N	1417 /78	1354 /77	1303 /76	1304 /76	1321 /78	1301 /77	1279 /76	1280 /76	1290 /78	1270 /77	1250 /76	1251 /76
A319	1301 /78	1284 /77	1265 /76	1267 /75	1278 /78	1261 /77	1240 /76	1243 /75	1249 /78	1231 /77	1226 /76	1214 /75

Тип ВС	ARPUD T750 OKSUD T787 OTKOL URAGO (556nm)				ARPUD T750 OTKOL URAGO (551nm)				ARPUD T750 URAGO (546nm)			
	FL 340				FL 340				FL 340			
	Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02			
	30	20	10	0	30	20	10	0	30	20	10	0
A320	1375 /78	1348 /78	1330 /76	1326 /74	1349 /78	1323 /78	1305 /76	1302 /74	1318 /78	1292 /78	1275 /76	1271 /74
A321	1624 /78	1605 /78	1588 /77	1591 /77	1594 /78	1575 /78	1558 /77	1561 /77	1557 /78	1538 /78	1525 /77	1524 /77
A330-301	2946 /84	2771 /82	2699 /80	2666 /79	2891 /84	2720 /82	2649 /80	2617 /79	2824 /84	2657 /82	2589 /80	2556 /79
B738	1399 /78	1407 /77	1386 /76	1388 /74	1375 /78	1382 /77	1361 /76	1362 /74	1345 /78	1351 /77	1330 /76	1332 /74
E170	1051 /78			931/ 72	958/ 78			915/ 72	936/ 78			894/ 72
SSJ100		1071 /78				1050 /78				1027 /78		
IL76				4307 /73				4229 /73				4133 /73

Таблица 3 «Расход топлива для разных типов воздушных судов на эшелоне полета 340»

Тип ВС	ARPUD T750 OKSUD T787 OTKOL URAGO (556nm)				ARPUD T750 OTKOL URAGO (551nm)				ARPUD T750 URAGO (546nm)			
	FL 360				FL 360				FL 360			
	Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02			
	30	20	10	0	30	20	10	0	30	20	10	0
A320N	1127 /78	1107 /78	1082 /77	1076 /76	1106 /78	1086 /78	1061 /77	1056 /76	1081 /78	1061 /78	1036 /77	1032 /76
A321N	1327 /78	1320 /79	1297 /78	1286 /78	1303 /78	1293 /78	1272 /78	1261 /78	1273 /78	1264 /78	1242 /78	1232 /78
A319	1262 /78	1243 /78	1224 /77	1221 /76	1239 /78	1220 /78	1200 /77	1198 /76	1211 /78	1191 /78	1172 /77	1170 /76
A320	1330 /78	1308 /78	1290 /77	1279 /75	1305 /78	1284 /78	1266 /77	1255 /75	1275 /78	1254 /78	1236 /77	1225 /75

Тип BC	ARPUD T750 OKSUD T787 OTKOL URAGO (556nm)				ARPUD T750 OTKOL URAGO (551nm)				ARPUD T750 URAGO (546nm)			
	FL 360				FL 360				FL 360			
	Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02				Max - + 0.01 -+ 0.02			
	30	20	10	0	30	20	10	0	30	20	10	0
A321	1624 /78	1605 /78	1589 /78	1582 /78	1593 /78	1575 /78	1559 /78	1552 /78	1555 /78	1537 /78	1521 /78	1514 /78
A330-301	2773 /84	2614 /82	2551 /80	2550 /80	2720 /84	2564 /82	2503 /80	2502 /80	2656 /84	2504 /82	2444 /80	2443 /80
B738	1351 /79	1364 /78	1347 /77	1352 /76	1326 /79	1340 /78	1322 /77	1328 /76	1297 /79	1311 /78	1293 /77	1298 /76
E170	976/ 78			933/ 72	958/ 78			916/ 72	936/ 78			894/ 72
SSJ100		1034 /78				1015 /78				991/ 78		
IL76				4245 /74				4169 /74				4074 /74

Таблица 4 «Расход топлива для разных типов воздушных судов на эшелоне полета 360»

В таблицах в столбцах указан расход топлива для полета на заданном эшелоне по заданному маршруту, где 30, 20, 10, 0 то кост индекс. После расхода топлива дет значение числа Маха, соответствующее заданному кост индексу для конкретного типа воздушного судна. Некоторые ячейки таблицы пусты, поскольку выполнение расчета по заданным критериям было невозможно для конкретного типа воздушного судна. Как видно из Таблицы 3м и Таблицы 4, для всех типов воздушных судов одинаково условие, что при полете на более высоком эшелоне расход топлива меньше. Также расход топлива уменьшается при спрямлении маршрута. Однако, для каждого воздушного судна изменение расхода топлива отличается. Кроме того, из Таблицы 3 и Таблицы 4 моно сделать вывод, что при выборе первоочередного инструмента следует отдавать предпочтение полету по спрямленному маршруту, если длина маршрута уменьшается более, чем на 100 морских миль, или полету на более высоком эшелоне, при спрямлении на меньшую дистанцию.

Авиакомпания для расчета топлива используют кост индекс, что является соотношением затрат на оплату времени полета экипажу воздушного судна, лизинговых платежей и других издержек к расходу топлива (и, соответственно, цене топлива) за это же время. Как правило, данный параметр расположен в диапазоне от 0 до 200 и выбирается каждой авиакомпанией. Согласно Таблице 3 и Таблице 4 можно сделать вывод, что изменение скорости в наименьшую сторону при прочих равных условиях менее выгодно, чем полет на более высоком эшелоне

(с учетом направления полета). При этом, в зависимости от типа воздушного судна, уменьшение скорости полета воздушного судна может быть, как равносильно спрямлению по расходу топлива, так и выгоднее, в зависимости от сопутствующих условий.

Что касается таких инструментов, как векторение и ремаршрутизация, при их использовании, они всегда увеличивают расход топлива, по тому же принципу, как уменьшается расход топлива при спрямлении. Чтобы рассчитать расход топлива для этих инструментов, необходимо понимать, насколько при их использовании увеличится длина маршрута.

### **3. Модель алгоритма принятия решений по использованию инструментов управления воздушным движением.**

Для разработки модели алгоритма принятия решения при использовании инструментов управления воздушным движением возьмем данные по расходу топлива воздушным судном типа A320N (Рисунок 2 «Изменение расхода топлива для A320N»). Для других типов воздушных судов следует изменять алгоритм в соответствии с их расходом топлива.

С помощью расчета топлива представим изменение топлива в зависимости от выбора используемых инструментов управления воздушным движением в виде диаграммы (Рисунок 2). Опираясь на данную диаграмму определим основной принцип принятия решения при использовании инструментов.

На диаграмме представлены кривые показывающие изменение расхода топлива для эшелонов полета 340 и 360 при длинах маршрута 556 морских миль, 551 морской миль и 546 морских миль и для кост индексов 30, 20, 10, 0.

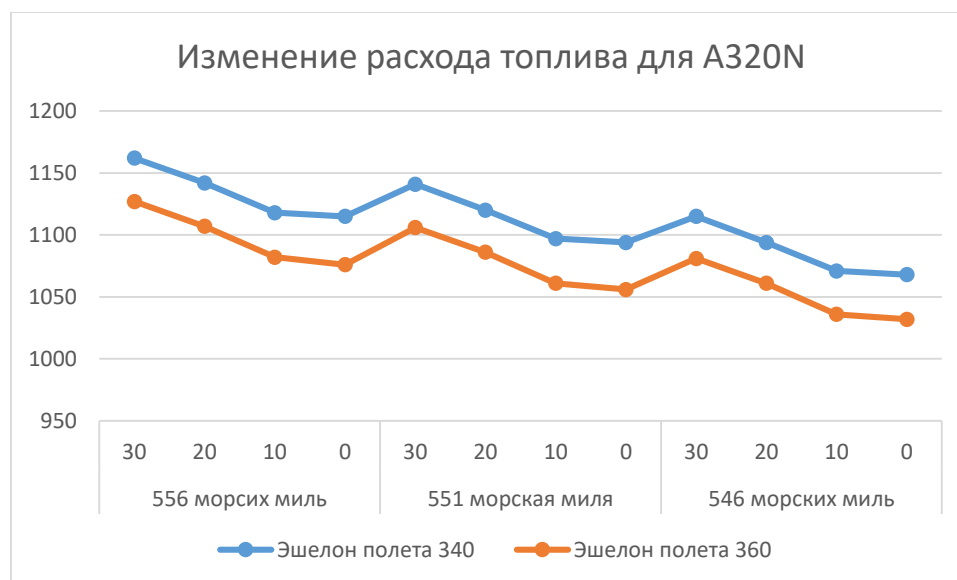


Рисунок 2 «Изменение расхода топлива для A320N»

При выборе инструмента управления воздушным движением, в первую очередь следует руководствоваться следующим порядком:

1. изменение эшелона полета на более высокий попутный;
2. спрямление;
3. изменение скорости полета;
4. векторение;
5. ремаршрутизация.

Алгоритм построен согласно этого принципа и представлен на Рисунке 2 «Модель алгоритма принятия решения при использовании инструментов управления воздушным движением».

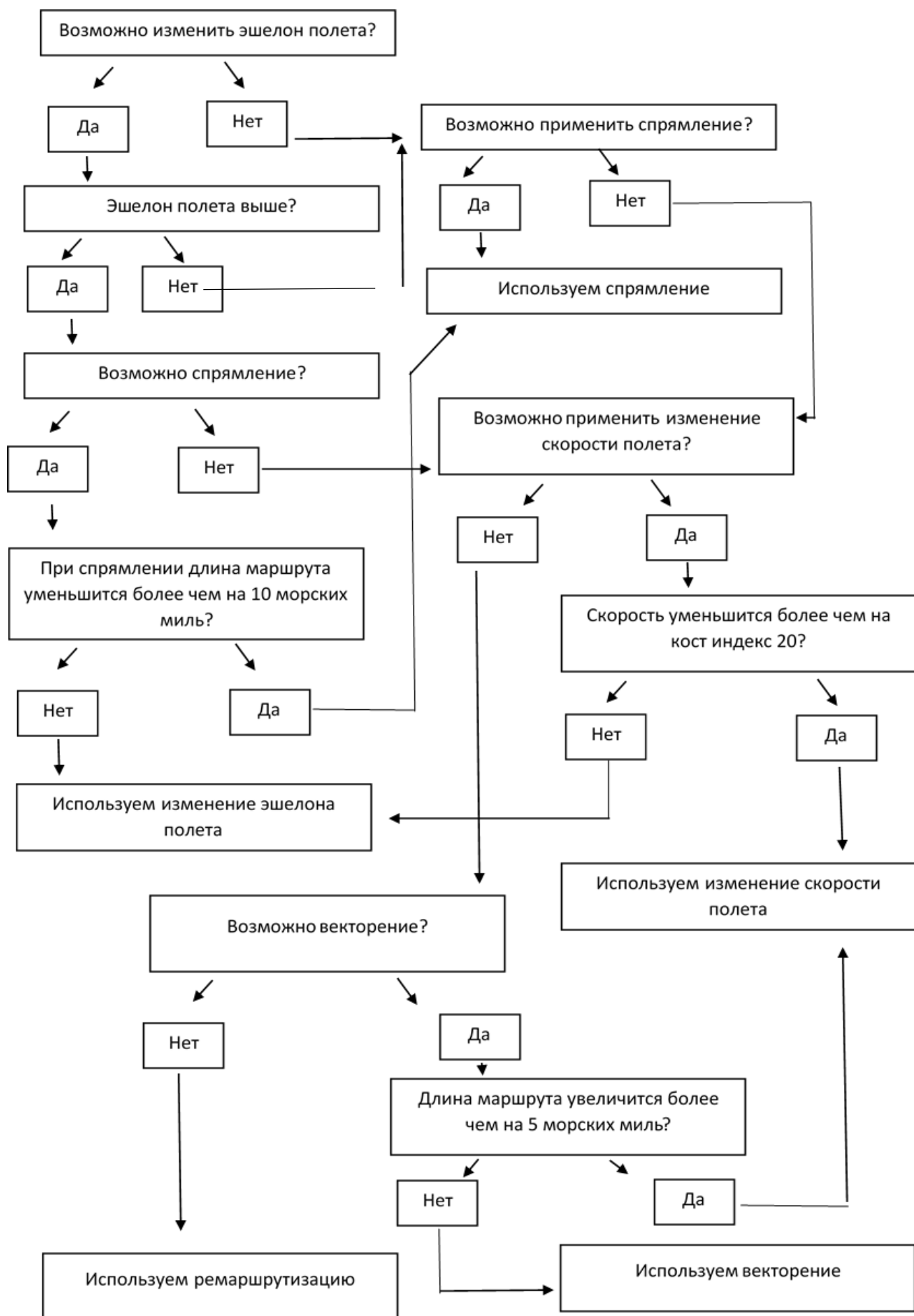


Рисунок 3 «Модель алгоритма принятия решения при использовании инструментов управления воздушным движением»

В алгоритме используются условия по применению того или иного инструмента управления воздушным движением исходя из расчета топлива для конкретного воздушного судна. Так же следует отметить, что основной задачей обслуживания воздушного движения является безопасность полетов. Следовательно, данный алгоритм следует применять, только при условии обеспечения необходимого уровня безопасности полетов, например, в случаях, когда для решения предполагаемой конфликтной ситуации достаточно времени.

Алгоритм разработан, чтобы на его основе создать функциональную модель выбора оптимального инструмента управления воздушным движением, для интеграции в существующие автоматизированные системы управления воздушным движением. Схема данной модели показана на рисунке 4 «Функциональная модель выбора оптимального инструмента УВД»

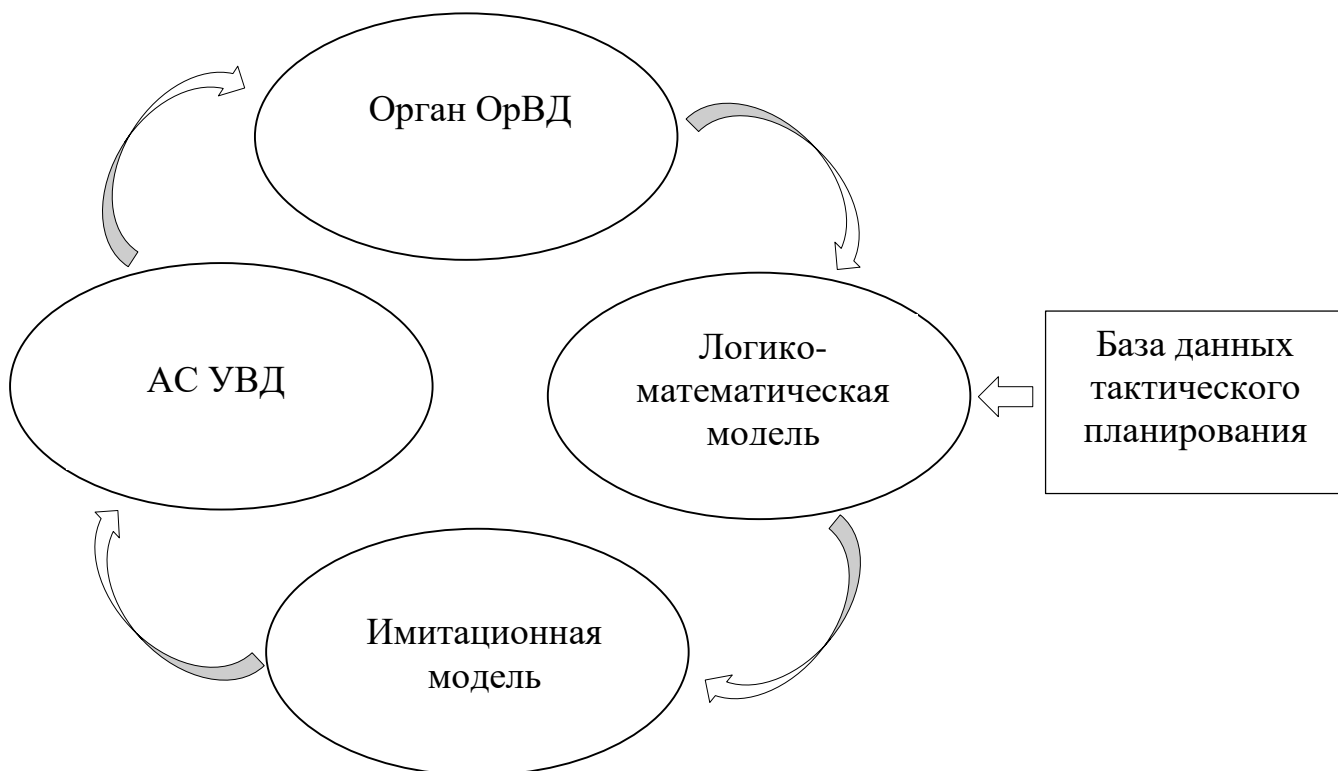


Рисунок 3 «Функциональная модель выбора оптимального инструмента УВД»

### Заключение.

По результатам исследований выполнена оценка и ранжирование эффективности применения инструментов управления воздушным движением в зависимости от различных условий полета при тактическом планировании. На основании этого разработан алгоритм автоматизации процесса выбора наиболее эффективного инструмента управления воздушным движением. Моделирование позволит обеспечить выбор наиболее эффективного инструмента с учетом различных факторов, влияющих на процесс тактического планирования в режиме реального времени. Моделирование основывается на эффективности оценки каждого этапа планирования.