



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

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

ФАКУЛЬТЕТ Прикладной математики и вычислительной техники

КАФЕДРА Вычислительных машин, комплексов, систем и сетей

Направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника
(код и наименование направления подготовки)

Направленность 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (транспорт)
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Алгоритм оценки своевременности вылета воздушного судна
гражданской авиации с учетом влияния внешних факторов

Обучающийся:

Дровосеков И.В.
(Ф.И.О.)

(Подпись)

Научный руководитель:

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

(Подпись)

Рецензенты:

д.т.н., доцент Егорова А.А.
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

к.т.н. Гаранин С.А.
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор Феоктистова
О.Г.
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

МОСКВА 2025

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ВЫЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Актуальность работы обусловлена тем, что в последнее десятилетие отечественная гражданская авиация столкнулась с рядом вызовов. В 2014–2019 годах российские авиаперевозчики адаптировались к последствиям экономического кризиса. С 2020 по конец 2021 года авиакомпании столкнулись с ограничениями, введенными из-за пандемии вируса COVID–19. После начала специальной военной операции в феврале 2022 года отечественные авиаперевозчики столкнулись с санкционным давлением иностранных государств, которое затронуло и техническое обслуживание гражданских воздушных судов. Таким образом значительно возросли риски при соблюдении сроков авиаперевозок гражданскими воздушными судами.

В связи со значительными издержками при нарушении своевременности сроков авиаперевозок, предусмотренных отечественным законодательством и международными договорами, возникла необходимость создания математических моделей и алгоритмов оценки вероятности своевременного вылета воздушного судна гражданской авиации в условиях ограниченных возможностей технического обслуживания. Подобные математические модели и алгоритмы на современном этапе становятся необходимым инструментом для принятия авиаперевозчиком управленческих решений.

Объект исследования: процесс обеспечения своевременного вылета воздушного судна.

Предмет исследования: определение вероятности обеспечения безопасной посадки воздушного судна, с учетом влияния внешних условий.

Цель исследования заключается в повышении эффективности прогнозирования своевременного вылета воздушного судна гражданской авиации в условиях неопределенности внешних факторов.

Задачи исследования были сформулированы согласно цели.

Научная новизна результатов научно-квалификационной работы состоит в разработке математической модели и алгоритма для оценки возможности вылета воздушных судов с учетом влияния внешних факторов.

На защиту выносятся следующие теоретические положения:

1. Анализ правовых рисков и юридической ответственности при нарушении сроков авиаперевозок.

Ответственность авиаперевозчика перед пассажиром была установлена ещё в законодательстве советского периода, а именно в статье 86 Воздушного кодекса СССР, согласно которой предусмотрены, например, следующие меры ответственности: «за неподачу указанных в плане перевозочных средств и за не предъявление к перевозке предусмотренного планом груза перевозчик и отправитель несут друг перед другом ответственность в виде штрафа в размере 25 процентов платы за перевозку за все непредъявленное или невывезенное, но подготовленное к погрузке количество груза» . Как мы видим, в нормативном правовом акте советского периода предусмотрены только финансовые меры ответственности авиаперевозчика за просрочку авиаперевозки, при этом компенсации распространялись только на груз.

Согласно части 1 статьи 876 части второй Гражданского кодекса Российской Федерации по договору перевозки пассажира «перевозчик обязуется перевезти пассажира в пункт назначения». В части 1 статьи 793 части второй Гражданского кодекса Российской Федерации установлено, что при неисполнении либо в случае «ненадлежащего исполнения обязательств по перевозке стороны несут ответственность, установленную настоящим Кодексом, транспортными уставами, кодексами и иными законами, а также соглашением сторон». Рассмотрим ответственность российских авиаперевозчиков на примере профильного кодекса.

В соответствии со статьёй 120 Воздушного кодекса Российской Федерации: «за просрочку доставки пассажира, багажа или груза в пункт назначения перевозчик уплачивает штраф в размере двадцати пяти процентов установленного федеральным законом минимального размера оплаты труда за каждый час

просрочки, но не более чем пятьдесят процентов провозной платы, если не докажет, что просрочка имела место вследствие непреодолимой силы, устранения неисправности воздушного судна, угрожающей жизни или здоровью пассажиров воздушного судна, либо иных обстоятельств, не зависящих от перевозчика» .

Кроме того, при нарушении сроков авиаперевозок пассажир в праве отказаться от полета и обратиться с претензией в адрес авиакомпании в аэропорту пункта отправления или в аэропорту пункта назначения (пункт 4 статьи 126 Воздушного кодекса Российской Федерации). Однако эти правила касаются только внутренних перевозок.

Согласно пункту 99 Федеральных авиационных правил «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей», утвержденных приказом Минтранса России от 28.06.2007 № 82, если по вине перевозчика была прервана перевозка, а также в случае задержки рейса, «отмены рейса вследствие неблагоприятных метеорологических условий, по техническим и другим причинам, перевозки перевозчик обязан организовать для пассажиров в пунктах отправления и в промежуточных пунктах следующие услуги» : предоставление комнат матери и ребенка пассажиру с ребенком в возрасте до семи лет; два телефонных звонка или два сообщения по электронной почте при ожидании отправления рейса более двух часов; обеспечение прохладительными напитками при ожидании отправления рейса более двух часов; обеспечение горячим питанием при ожидании отправления рейса более четырех часов и далее каждые шесть часов - в дневное время и каждые восемь часов - в ночное время; размещение в гостинице при ожидании отправления рейса более восьми часов - в дневное время и более шести часов - в ночное время; доставка транспортом от аэропорта до гостиницы и обратно в тех случаях, когда гостиница предоставляется без взимания дополнительной платы; организация хранения багажа.

Указанные выше услуги должны быть предоставлены на безвозмездной основе, что вызывает дополнительные финансовые убытки для авиаперевозчиков.

2. Анализ факторов, вызывающих задержку и отмену рейса.

Авиaperевозки это крайне сложный процесс, который включает в себя множество этапов. Сбой на любом из них способен привести к задержке рейса. Кроме того, на деятельность авиации влияет целый ряд факторов, которые едва ли можно контролировать. Ежегодно авиакомпанияи несут многомиллионные убытки в результате задержек своих рейсов, а пассажиры терпят значительные неудобства.

Время вылета – это время начала движения самолета со стоянки, либо время уборки трапа, зависит от технологии, применяемой в конкретной авиакомпании. Время прибытия – соответственно время установки самолета на стоянку или время подгона трапа.

Время полета по расписанию включает в себя непосредственно летное время с учетом осредненных данных о ветре, а также время на руление перед взлетом и после посадки, которое определяется статистически для конкретного аэропорта.

Причин задержек может быть множество, однако, обычно, в аэропорту пассажирам озвучивают только три:

- позднее прибытие самолета;
- метеоусловия;
- техническая причина.

Позднее прибытие самолета.

Позднее прибытие возникает следующим образом. На каждый рейс авиакомпания назначает конкретный самолет. Большинство авиакомпаний старается минимизировать простой самолета, поэтому рейсы планируются с минимальными интервалами. Для самолетов класса А320 и Б737 это около часа в базовом и 40-50 минут в транзитном аэропорту между рейсами, этого времени достаточно на подготовку самолета к следующему рейсу. Теперь представим, что предыдущий рейс прибывает с задержкой. Конечно, авиакомпания попытается оперативно разменять самолеты с тем, чтобы не допустить задержку других рейсов. Но если такой возможности нет, следующий рейс будет задержан «поздним прибытием самолета».

Метеоусловия.

Самый распространенный вариант – ограниченная видимость, как правило, туман или сильный снегопад. При заходе на посадку устанавливается так называемая высота принятия решения, и если летчик на этой высоте не увидит полосу, он не имеет права продолжать снижение. Погодные минимумы для конкретного экипажа, самолета и даже аэродрома у всех свои. Туман – это часто локальное явление погоды, вполне возможно, что нигде кроме аэропорта его нет.

Кроме тумана, возможны задержки из-за сильного ветра, который превышает ограничения самолета для посадки, а также по причине низкого коэффициента сцепления на полосе, часто из-за сочетания первого и второго. Для каждого воздушного судна установлены ограничения по попутной (самолету выгоднее взлетать и садиться против ветра) и боковой составляющей ветра. Превышать их опасно. Если же полоса обледенела и дует даже не особо сильный боковой ветер, садиться нельзя.

Если речь идет о коротком рейсе (менее 2-х часов), то часто бывает так, что задержки выдаются на небольшое время, а потом многократно продлеваются, связано это с тем, что для таких рейсов решение принимается по фактическим метеоусловиям (сводки фактической погоды выходят каждые полчаса). Если же полетное время составляет более двух часов, решение принимается по прогнозу, с тем чтобы прилететь под прогнозируемое улучшение. Для таких рейсов задержки могут выдаваться сразу на несколько часов. Все зависит от конкретного командира, одни предпочитают выдать задержку сразу на два часа и спокойно ждать, другие будут держать пассажиров на борту, надеясь на улучшение.

Техническая причина.

Если рейс задержан по технической причине, то как правило, речь идет о незначительных с точки зрения безопасности неисправностях, которые исправляются в течении получаса. Производитель самолета дает четкие инструкции, с каким неисправным оборудованием можно летать и как долго. Например, можно летать с одним неисправным реверсом двигателя и это будет

абсолютно безопасно, просто необходимо выполнить перерасчет потребных дистанций для взлета и посадки.

Влияние времени суток на вероятность задержки рейса.

Данные Министерства транспорта показали, что 86% утренних рейсов со временем вылета с 6:00 до 7:00 утра прибывают вовремя, в отличие от 66% вечерних рейсов с 22:00 до 23:00 вечера. Преимущество утренних рейсов заключается в том, что воздушные суда уже готовы к вылету, т.к. они простояли ночь в аэропорту. Кроме того, утром обычно лучше погода, меньше вероятность гроз, что также способствует своевременному вылету. Чтобы снизить риск опоздания на стыковочный самолёт и предотвратить стрессовые ситуации, эксперты порекомендовали избегать пересадок и бронировать прямые рейсы.

3. Алгоритм оценки вероятности выполнения вылета.

Определение вероятностей состояний выполнения рейса ВС, как марковского случайного процесса, производится с помощью уравнений Колмогорова.

ВС судно находится в исправном состоянии и готовится выполнить рейс. Выполнению рейса может последовать отказ, связанный с метеоусловиями аэропорта посадки. Поток отказов задается моделью случайно, исходя из метеонаблюдений за период 2020-2025 гг., таким же образом происходит подбор состава экипажа и типа ВС.

Отказ может последовать только в процессе анализа сводки погоды аэропорта посадки.

1) Процесс выполнения полета удобно представить как последовательное пребывание ВС в следующих состояниях:

1 - готовности к вылету (S1)(ГВ);

2 – ожидание вылета (устранение отказа на вылет путем возможной замены экипажа и ВС) (S2)(ОжВ);

3 - отказ в вылете (S3)(ОВ).

Был составлен ориентированный граф состояний описанной системы и составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова для решения поставленной задачи.

4. Математическая модель определения вероятности вылета воздушного судна.

В рамках предлагаемой методики модель расчета вероятности своевременного вылета (посадки) ВС реализована в программе для ЭВМ, позволяющей выполнять расчеты и представлять их в удобном для исследователя виде. Программа обладает современным интерфейсом, удобным для исследователя, и позволяет выполнять расчет следующих показателей:

- готовности к вылету (посадке P_1);
- ожидание вылета (устранение отказа на вылет путем возможной замены экипажа и ВС) (P_2);
- отказ в вылете (P_3).

Программа реализована на языке программирования Python.

На ее главном окне присутствуют диалоговый интерфейс для ввода значений исходных данных.

При планировании рейса воздушного судна выбираем аэропорт, планируемую дату вылета и время посадки воздушного судна, которое совпадает с временем проведения измерения скорости и направления ветра, дальности и высоты видимости ВПП (от этого зависит класс ВС и экипажа).

Вводим тип планируемого к полету ВС и класс командира ВС. Нажимаем кнопку «Проверить посадку». В случае выполнения всех граничных требований по направлению и скорости ветра, а также по условиям видимости, программа посчитает вероятности выполнения полета, нахождения ВС в ожидании вылета или отказа в вылете.

Если по условиям видимости класс пилота не позволяет произвести посадку, программа порекомендует сменить командира ВС на пилота, имеющего 1 класс.

Таким же образом, в зависимости от скорости и направления ветра программа может порекомендовать сменить тип воздушного судна, в зависимости от посадочных характеристик.

После выполнения рекомендаций программы и всех граничных условий, будет подсчитаны вероятности выполнения полета, ожидания вылета и отмены вылета.

В зависимости от сложившейся обстановки, принимается то или иное решение при планировании полета в заданный период времени.

Затем приводится в действие математическая модель, которая показывает, какое ожидается изменение обстановки в ответ на это решение и к каким последствиям оно приведет спустя некоторое время. Следующее «текущее решение» на вылет принимается уже с учетом реальной новой обстановки.

В рамках проведенного исследования разработан математический алгоритм оценки своевременности вылета воздушного судна гражданской авиации, с учетом влияния внешних факторов.

Данный алгоритм предназначен для принятия управленческих решений по обеспечению регулярности и своевременности полетов воздушных судов и сокращения финансовых издержек авиаперевозчиком, связанных с задержкой и отменой запланированных рейсов.

Практическая значимость работы связана с возможностью применения результатов исследования при планировании полетов воздушных судов гражданской авиации. подборе кадров авиационного персонала. Результаты исследования могут быть непосредственно применены при оценке вероятности выполнения полета. В условиях быстро меняющихся метеорологических условий, в зависимости от времени года и времени суток в районе исследуемых аэропортов посадки, разработанная математическая модель и математический алгоритм способствуют принятия управленческих решений по обеспечению своевременности вылета воздушного судна и сокращения финансовых издержек авиаперевозчиком.

Уважаемый Председатель, уважаемые члены комиссии!
Доклад закончен.