



Математические модели

для системы управления
доходностью Аэрофлота



1. Анализ существующих методов, моделей и инструментов для управления доходностью авиакомпаний

- 1.1. Основные модели для управления доходностью авиакомпаний
 - 1.1.1. Модель Belobaba
 - 1.1.2. Модель Littlewood-Ryzin
 - 1.1.3. Модель Chatwin
 - 1.1.4. Модель Weatherford-Bodily
 - 1.1.5. Модель Smith-Penn
- 1.2. Инструментальные средства
 - 1.2.1. Sabre
 - 1.2.2. Amadeus
 - 1.2.3. Galileo
 - 1.2.4. Сирена

2. Разработка моделей для системы управления доходностью Аэрофлота

- 2.1. Динамика бронирования вылетевшего рейса
- 2.2. Динамики бронирования продаваемого рейса
 - 2.2.1. Сравнительный анализ методов машинного обучения
 - 2.2.2. Сравнительный анализ методов временных рядов
 - 2.2.3. Сравнительный анализ методов глубокого обучения
 - 2.2.4. Классические методы
 - 2.2.5. Основные выводы
- 2.3. Расчет среднего числа неявок (no-show) вылетевшего рейса
 - 2.3.1. Сравнительный анализ методов машинного обучения
 - 2.3.2. Сравнительный анализ методов временных рядов
 - 2.3.3. Сравнительный анализ методов глубокого обучения
 - 2.3.4. Классические методы
 - 2.3.5. Основные выводы
- 2.4. Расчет среднего числа отмен (cancellation) вылетевшего рейса
 - 2.4.1. Сравнительный анализ методов машинного обучения
 - 2.4.2. Сравнительный анализ методов временных рядов
 - 2.4.3. Сравнительный анализ методов глубокого обучения
 - 2.4.4. Классические методы
 - 2.4.5. Основные выводы

3. Методология оценки моделей

- 3.1. Прототип и имитация его работы
 - 3.1.1. Имитационное моделирование структуры спроса по улетевшему рейсу
 - 3.1.2. Имитация работы «Inventory»
- 3.2. Аprobация прототипа на реальных данных
- 3.3. Сравнительный анализ моделей

4. Техническая реализация моделей

- 4.1. Разработка спецификации API
 - 4.1.1. 1 метод API
 - 4.1.2. 2 метод API
 - 4.1.3. 3 метод API





1. Анализ существующих методов, моделей и инструментов для управления доходностью авиакомпаний

1.1. Основные модели для управления доходностью авиакомпаний

1.2. Инструментальные средства



Анализ существующих методов, моделей и инструментов для управления доходностью авиакомпаний

Авиационная отрасль является одной из наиболее динамично развивающихся и конкурентных сфер современной экономики. Авиакомпании постоянно сталкиваются с необходимостью повышать эффективность своей деятельности, чтобы оставаться прибыльными и конкурентоспособными на рынке воздушных перевозок. Управление доходностью (Revenue Management, RM) играет ключевую роль в достижении этой цели.

Концепция управления доходностью предполагает оптимизацию распределения ограниченных ресурсов авиакомпании (мест в самолете) с учетом динамического спроса пассажиров на авиаперелеты. Это позволяет максимизировать доход от продажи билетов, обеспечивая при этом высокую загрузку воздушных судов.

В современных условиях управление доходностью авиакомпаний становится все

более сложной задачей. Возрастающая волатильность спроса, появление новых каналов продаж, усиление конкуренции - все это требует применения передовых методов и инструментов для оптимизации ценообразования, управления квотами мест, прогнозирования спроса и принятия эффективных управленческих решений.

В этой связи актуальным направлением исследований является разработка и совершенствование моделей, методов и инструментальных средств для управления доходностью авиакомпаний. Данная работа посвящена комплексному анализу существующих подходов и инструментов в этой области, а также разработке новых моделей и прототипов систем управления доходностью, ориентированных на повышение эффективности авиаперевозок.

Основные модели для управления доходностью авиакомпаний

Эффективное управление доходностью является ключевым приоритетом для авиационной отрасли в современных экономических условиях. Отрасль авиаперевозок играет жизненно важную роль в развитии глобальной экономики,

обеспечивая мобильность людей и грузов по всему миру. Однако авиакомпании сталкиваются с рядом серьезных вызовов, требующих постоянной адаптации и оптимизации их деятельности.

Вызовов, требующих постоянной адаптации и оптимизации

1

Авиационная индустрия характеризуется высокой конкуренцией, что оказывает постоянное ценовое давление и сжимает маржинальность перевозок. Выход на новые рынки, появление низкобюджетных авиаперевозчиков и другие факторы усиливают конкурентную борьбу, вынуждая авиакомпании искать способы повышения эффективности и сохранения прибыльности.

2

Авиарынок отличается высокой волатильностью, обусловленной влиянием различных геополитических, экономических и социальных факторов. Колебания спроса, изменения в предпочтениях пассажиров, скачки цен на топливо и другие внешние шоки создают сложности для прогнозирования и планирования деятельности авиакомпаний.

3

Развитие информационных технологий и цифровизация отрасли открывают новые возможности, но также повышают требования к управлению данными и интеграции различных систем. Авиакомпании должны эффективно использовать накапливаемые массивы информации о пассажирах, их поведении и предпочтениях для персонализации предложений и повышения доходности.



Несмотря на активное внедрение передовых методов управления доходами, авиакомпании по-прежнему сталкиваются с рядом серьезных проблем:

- Рост конкуренции и ценовое давление, сжимающие маржинальность перевозок.
- Сложность прогнозирования спроса и оптимального ценообразования в условиях высокой волатильности рынка.
- Необходимость быстрой адаптации к изменениям предпочтений пассажиров и новым бизнес-моделям.
- Недостаток интеграции между различными системами управления доходами и другими ключевыми процессами.

Дальнейшее развитие методов и инструментов управления доходностью авиакомпаний связано с внедрением передовых технологий и аналитических решений. Ключевыми направлениями являются:

- Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения для повышения точности прогнозирования спроса и оптимизации ценообразования.
- Расширение возможностей динамического управления доходами за счет более глубокой интеграции систем и данных.
- Развитие омниканальных решений, обеспечивающих единый подход к взаимодействию с пассажирами на всех этапах их путешествия.
- Внедрение инновационных бизнес-моделей и продуктов, повышающих лояльность и персонализацию обслуживания.
- Комплексный подход к решению этих задач позволит авиакомпаниям повысить эффективность управления доходами, сохранить конкурентные преимущества и обеспечить долгосрочную устойчивость бизнеса.

1.1. Основные модели для управления доходностью авиакомпаний

1.1.1. Модель Belobaba

Модель Belobaba — это математическая модель, разработанная Питером Белобабой, которая используется для анализа и оптимизации процесса ценообразования и доходов авиакомпаний. Эта модель представляет собой важный инструмент в области управления доходами (revenue management) в авиационной отрасли.

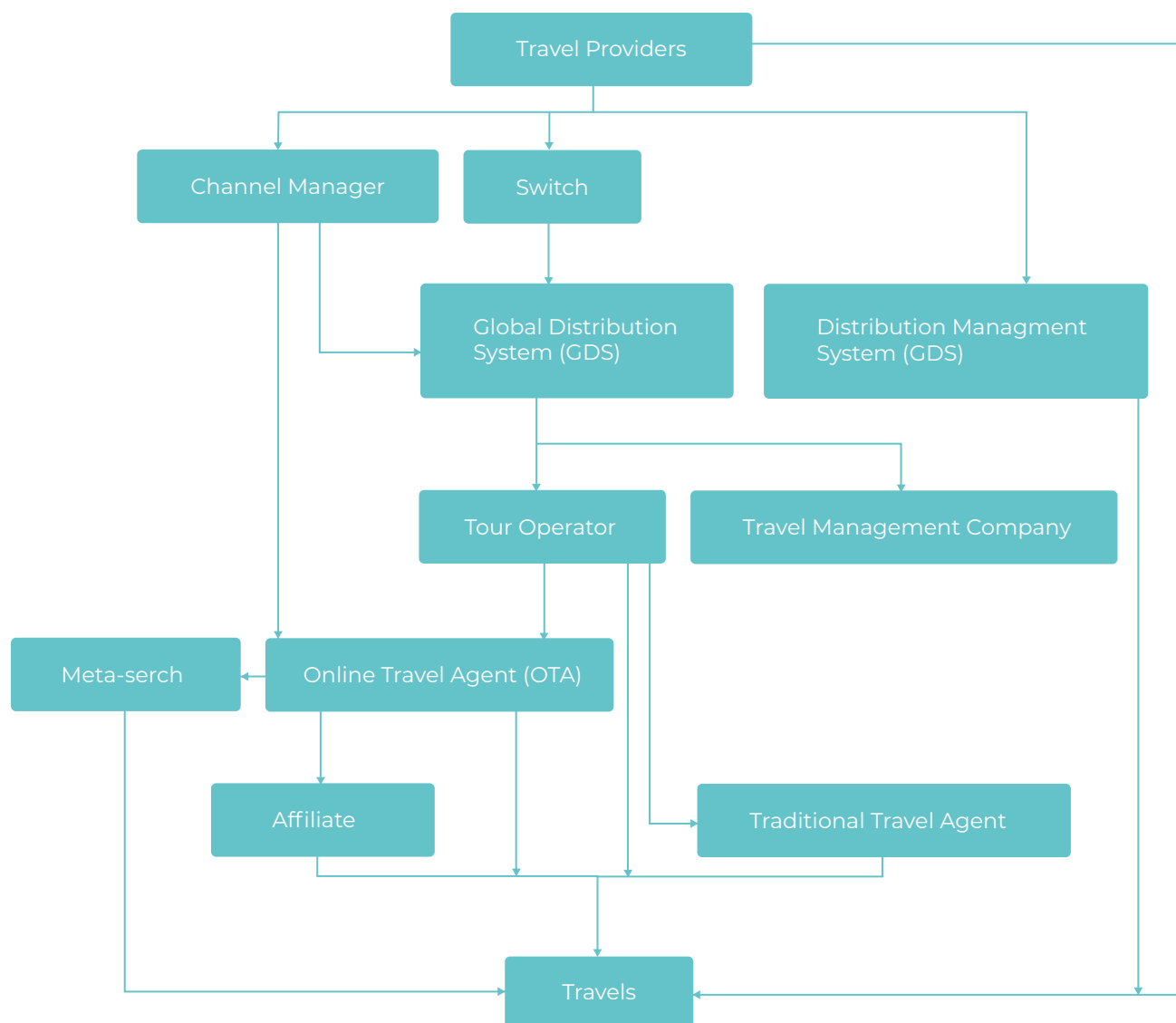


Схема работы модели Belobaba

Основные особенности модели Belobaba

1. Сегментация рынка

Модель предполагает, что авиакомпания может разделить рынок на несколько сегментов пассажиров с различной ценовой эластичностью спроса. Например, деловые и leisure-пассажиры.

Сегментация рынка авиаперелетов - это процесс разделения рынка на более мелкие группы потребителей с похожими потребностями, характеристиками и поведением в отношении авиаперелетов. Это позволяет авиакомпаниям разрабатывать целевые маркетинговые стратегии для каждого сегмента.

ОСНОВНЫЕ СЕГМЕНТЫ РЫНКА АВИАПЕРЕЛЕТОВ:

- ЦЕЛЬ ПОЕЗДКИ
- КЛАСС ОБСЛУЖИВАНИЯ
- ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ РЕГИОН
- ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
- ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



2. Ценовая дискриминация

Практика продажи одинакового продукта или услуги разным клиентам по разным ценам, не основанная на издержках. В отрасли авиаперевозок ценовая дискриминация широко распространена и принимает различные формы.



3. Прогнозирование

Модель учитывает, что цены на билеты могут меняться в зависимости от времени до вылета, доступности мест, сезонности и других факторов. Прогнозирование – существенная и необходимая часть модели управления доходностью. Ее задача – определить будущий спрос на авиабилеты. Качество модели существенно зависит от точности прогноза. Без точного прогноза информация о цене билета, выдаваемая моделью управления доходностью, может оказаться весьма ошибочной.



4. Управление квотами

Модель помогает авиакомпаниям определять оптимальное количество мест, доступных для продажи по более низким тарифам, чтобы максимизировать общую выручку.



5. Оптимизация

Оптимизационная часть модели управления доходностью чрезвычайно важна. Модели управления посадочными местами составляют ядро оптимизационных моделей в авиаперевозках. С их помощью до времени отлета решается задача соотношения ограниченного числа посадочных мест с запросами клиентов, готовых платить разные цены. Цены каждого класса каждого отрезка пути подготовлены заранее. Цель задачи – найти оптимальные цены и количество мест к продаже в разных классах, которые ведут к максимизации дохода. Последующее принятие или отклонение каждого поступающего заказа основывается на полученном решении задачи.

1.1.2. Модель Littlewood-Ryzin

Модель Литтлвуда-Райзина — это экономическая модель, которая используется для определения оптимальной цены билетов на самолет с учетом спроса, издержек и конкуренции. Она была разработана Стивеном Литтлвудом и Генри Райзиным в 1990 году и основана на теории игр.

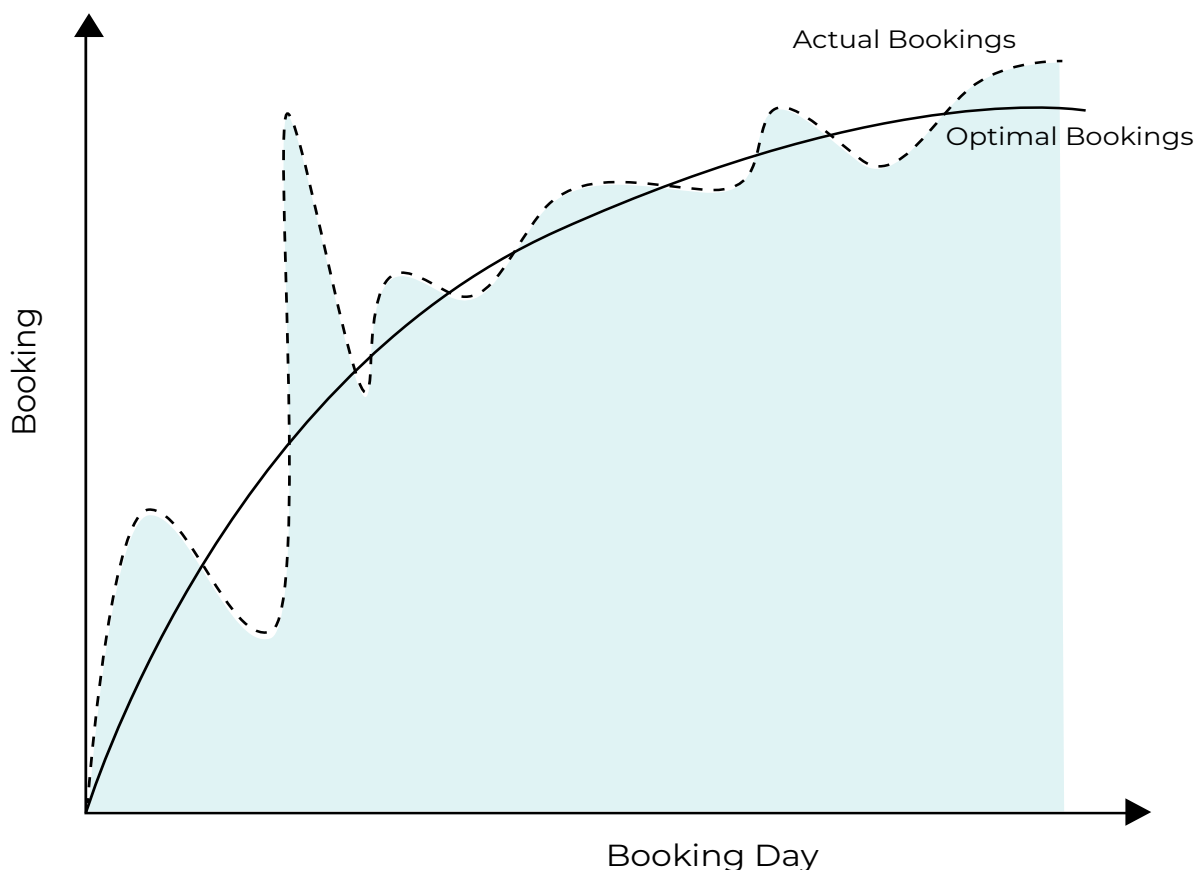
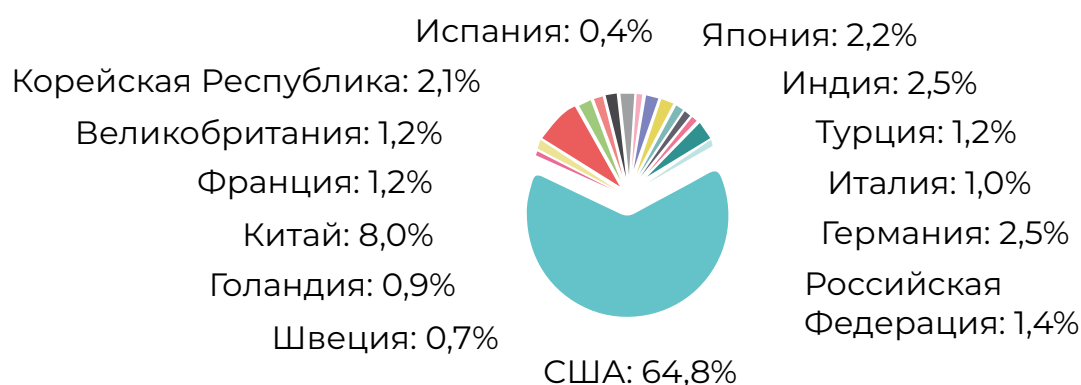


Диаграмма модели Littlewood-Ryzin



Модель Литтлвуда-Райзина используется авиакомпаниями для:

- оптимизации цен на билеты с учетом спроса, издержек и конкуренции;
- определения оптимальной загрузки рейсов;
- прогнозирования выручки и прибыли;
- принятия решений о ценах в условиях динамического ценообразования.



Востребованность модели в разных странах

Основные особенности модели Литтлвуда-Райзина



МОДЕЛЬ ПРИНИМАЕТ ВО ВНИМАНИЕ СЛЕДУЮЩИЕ ФАКТОРЫ:

- СПРОС ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА АВИАПЕРЕЛЕТЫ (ЭЛАСТИЧНОСТЬ СПРОСА);
- ИЗДЕРЖКИ АВИАКОМПАНИИ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ РЕЙСА (ПЕРЕМЕННЫЕ И ПОСТОЯННЫЕ ИЗДЕРЖКИ);
- НАЛИЧИЕ И ЦЕНЫ КОНКУРИРУЮЩИХ АВИАКОМПАНИЙ.



Преимущества модели Литтлвуда-Райзина

- Предоставляет количественный подход к определению оптимальных цен на авиабилеты.
- Учитывает взаимозависимость спроса, издержек и конкуренции.
- Позволяет авиакомпаниям максимизировать прибыль и заполняемость рейсов.



Ограничения модели Литтлвуда-Райзина

- Может быть сложно точно оценить эластичность спроса и издержки.
- Не учитывает неценовые факторы, влияющие на выбор авиакомпаний пассажирами.
- Предполагает рациональное и стратегическое поведение авиакомпаний.

Несмотря на эти ограничения, модель Литтлвуда-Райзина остается широко используемым инструментом для определения оптимальных цен на авиабилеты и понимания динамики рынка авиаперелетов.

1.1.3. Модель Chatwin

Модель Chatwin — это маркетинговая модель, которая используется для сегментации рынка на основе психографических характеристик потребителей. Она была разработана Ричардом Чатвином в 1973 году и основана на предпосылке, что ценности, образ жизни и личность людей влияют на их поведение при покупке.

Модель Chatwin делит потребителей на пять основных психографических сегментов:

1

Инноваторы

Принимают новые продукты и идеи с энтузиазмом, ищут уникальный опыт и открыты для изменений.

2

Мыслители

Аналитические и рациональные, ценят факты, логику и функциональность, тщательно исследуют перед покупкой.

3

Верующие

Привержены традициям и ценностям, лояльны к знакомым брендам и неохотно переходят на новые продукты.

4

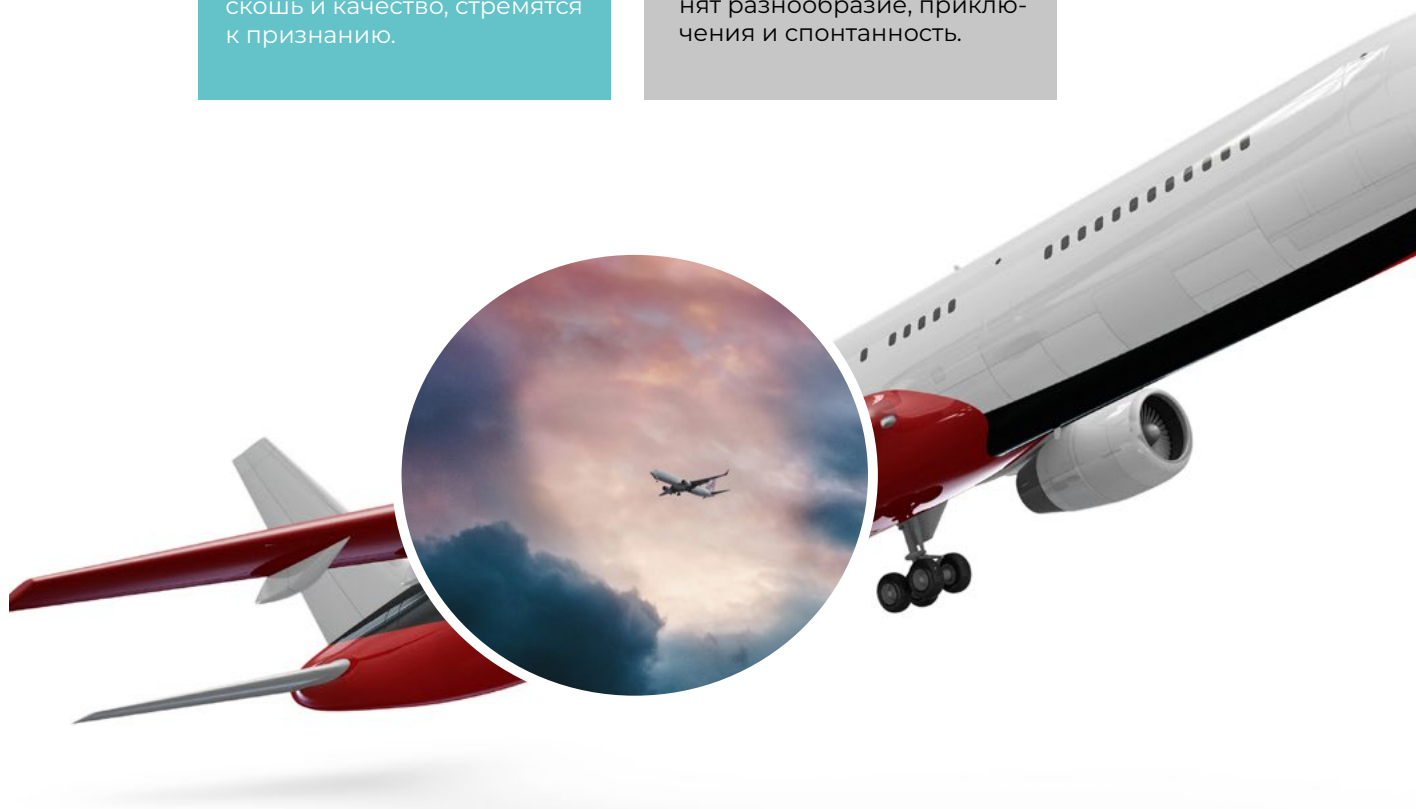
Достигаторы

Мотивированы успехом и статусом, ценят престиж, роскошь и качество, стремятся к признанию.

5

Исследователи

Любознательны и открыты для новых впечатлений, ценят разнообразие, приключения и спонтанность.



Основные особенности модели Chatwin



МОДЕЛЬ CHATWIN ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
МАРКЕТОЛОГАМИ ДЛЯ

- - ПОНИМАНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ И ПОВЕДЕНИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ,
- - РАЗРАБОТКИ ЦЕЛЕВЫХ МАРКЕТИНГОВЫХ КАМПАНИЙ ДЛЯ КАЖДОГО СЕГМЕНТА,
- - СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ И УСЛУГ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ЦЕННОСТЯМ И ОБРАЗУ ЖИЗНИ КОНКРЕТНЫХ СЕГМЕНТОВ,
- - ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ И ПРОДВИЖЕНИЯ.



Преимущества модели Chatwin:

- Предоставляет глубокое понимание психографических характеристик потребителей.
- Помогает маркетологам создавать более персонализированный и релевантный маркетинг.
- Улучшает таргетинг и повышает эффективность маркетинговых кампаний.
- Способствует развитию более прочных отношений с клиентами.



Ограничения модели Chatwin:

- Может быть сложно и дорого собрать психографические данные о потребителях.
- Сегменты могут перекрываться, и потребители могут принадлежать к нескольким сегментам.
- Культурные и социальные факторы могут влиять на психографические характеристики.

Несмотря на эти ограничения, модель Chatwin остается ценным инструментом для сегментации рынка и понимания потребительского поведения.

Chatwin



1.1.4. Модель Weatherford-Bodily

Модель Weatherford-Bodily — это математическая модель, используемая для прогнозирования спроса на авиаперелеты. Она была разработана Лоуренсом Везерфордом и Сьюзен Бодили в 1992 году и основана на теории временных рядов. Модель использует исторические данные о спросе на авиаперелеты для прогнозирования будущих тенденций спроса.

Модель учитывает такие факторы, как:

- Сезонность.
- Дни недели.
- Праздники.
- Специальные события.
- Экономические условия.



МОДЕЛЬ WEATHERFORD-BODILY ИСПОЛЬЗУЕТСЯ АВИАКОМПАНИЯМИ И ДРУГИМИ УЧАСТНИКАМИ ИНДУСТРИИ АВИАПЕРЕВОЗОК ДЛЯ:

- ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА АВИАПЕРЕЛЕТЫ НА БУДУЩИЕ ПЕРИОДЫ;
- ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ РЕЙСОВ И ВМЕСТИМОСТИ САМОЛЕТОВ;
- ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕН НА БИЛЕТЫ С УЧЕТОМ ОЖИДАЕМОГО СПРОСА;
- ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СПРОС НА АВИАПЕРЕЛЕТЫ.

Модель Weatherford-Bodily использует ряд математических формул - ключевые элементы:

1. Функция спроса.
2. Функция вероятности отмены.
3. Оптимизация дохода.

Основные особенности модели Weatherford-Bodily



Преимущества модели Weatherford-Bodily:

- Предоставляет точные прогнозы спроса на авиаперелеты
- Учитывает различные факторы, влияющие на спрос
- Может использоваться для прогнозирования спроса на краткосрочный и долгосрочный периоды
- Относительно проста в реализации и использовании



Ограничения модели Weatherford-Bodily:

- Требуется большого объема исторических данных для обеспечения точных прогнозов
- Не учитывает неожиданные события, которые могут повлиять на спрос
- Может быть чувствительна к изменениям в структуре рынка или поведении потребителей

Несмотря на эти ограничения, модель Weatherford-Bodily остается широко используемым инструментом для прогнозирования спроса на авиаперелеты и планирования операций авиакомпаний.

1.1.5. Модель Smith-Penn

Модель Смита-Пенна — это маркетинговая модель, используемая для оценки отдачи от инвестиций (ROI) в маркетинговые кампании авиаперелетов. Она была разработана Уильямом Смитом и Янгом Пенном в 1998 году и основана на концепции атрибуции.

Smith-Penn

Основные особенности модели Литтлвуда-Райзина



МОДЕЛЬ СМИТА-ПЕННА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ АВИАКОМПАНИЯМИ И ДРУГИМИ УЧАСТНИКАМИ ИНДУСТРИИ АВИАПЕРЕВОЗОК ДЛЯ:

- ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКЕТИНГОВЫХ КАМПАНИЙ;
- ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОВОГО БЮДЖЕТА;
- ДЕМОНСТРАЦИИ ЦЕННОСТИ МАРКЕТИНГОВЫХ ИНВЕСТИЦИЙ РУКОВОДСТВУ И ЗАИНТЕРЕСОВАННЫМ СТОРОНАМ;
- ПОВЫШЕНИЯ ПОДОТЧЕТНОСТИ И ПРОЗРАЧНОСТИ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Модель Смита-Пенна использует комбинацию количественных и качественных данных для определения влияния маркетинговых кампаний на поведение потребителей и продажи. Она учитывает такие факторы, как:

- Медиа-каналы, используемые в кампании;
- Креативное исполнение кампании;
- Целевая аудитория кампании;
- Общая маркетинговая среда.



Преимущества модели Смита-Пенна:

- Предоставляет количественную оценку ROI маркетинговых кампаний.
- Учитывает различные факторы, влияющие на эффективность кампании.
- Может использоваться для сравнения эффективности разных кампаний и каналов.
- Помогает авиакомпаниям принимать обоснованные решения о будущих маркетинговых инвестициях.



Ограничения модели Смита-Пенна:

- Может быть сложно точно определить влияние маркетинговых кампаний на поведение потребителей и продажи.
- Требуется наличия большого объема данных и сложных статистических методов.
- Может быть подвержена предвзятости и субъективным интерпретациям.

Несмотря на эти ограничения, модель Смита-Пенна остается ценным инструментом для оценки эффективности маркетинговых кампаний авиаперелетов и оптимизации маркетинговых инвестиций.



1.2. Инструментальные средства

1.2.1. Sabre

Sabre представляет собой IT платформу, на базе которой операторами может осуществляться поиск, бронирование и покупка авиабилетов, организация путешествий и бронирование сопутствующих услуг.



Поставщики услуг для туристического бизнеса посредством системы Sabre:

- Аэропорты и авиакомпании. В системе Sabre представлены 400 авиалиний, среди которых крупные авиакомпании и чартерные авиалинии, низкобюджетные перевозчики и карго компании.
- Гостиницы. В системе Sabre представлено более 125 000 гостиничных сетей и отелей разного класса и размера.
- Компании по аренде автомобиля. Sabre позволяет арендовать автомобиль 27 компаний с представительствами во всем мире.
- Круизные компании. В системе Sabre можно забронировать круиз в 16 круизных линиях.

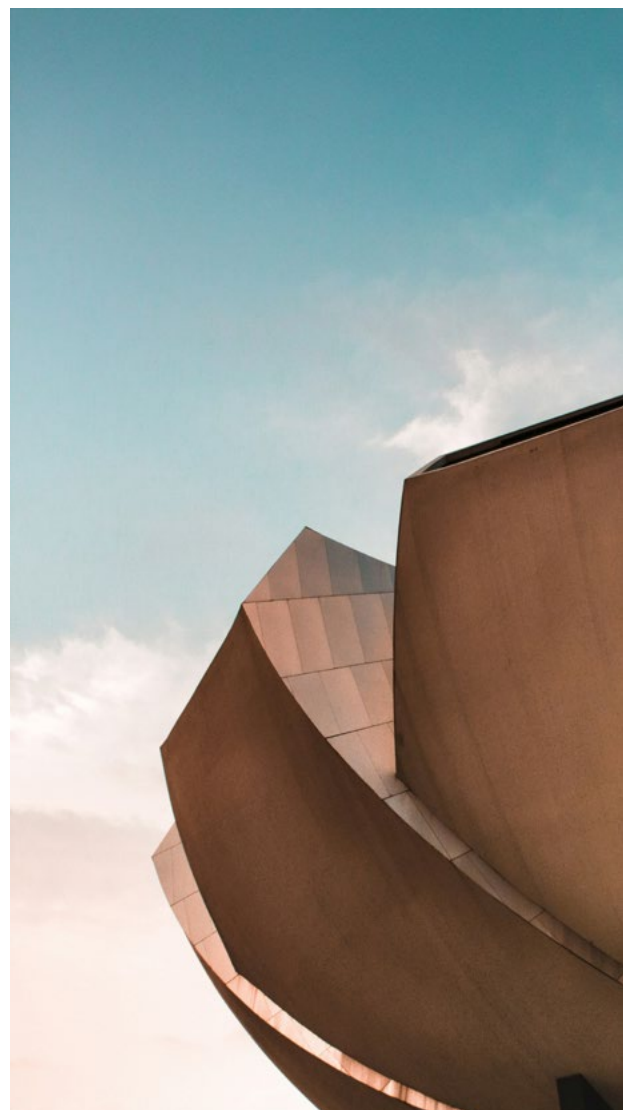


Сферы деятельности системы Sabre

СИСТЕМА SABRE УСТАНОВ-
ЛЕНА БОЛЕЕ ЧЕМ В 415 000
АГЕНТСТВ ЦЕНТРАХ В 112
СТРАНАХ НА 6 КОНТИНЕНТАХ.
SABRE ЯВЛЯЕТСЯ ДЕЙСТВИ-
ТЕЛЬНО ГЛОБАЛЬНОЙ ДИС-
ТРИБУТИВНОЙ СИСТЕМОЙ.
В ЭТОЙ СИСТЕМЕ ПРОИЗВО-
ДИТСЯ 37% МИРОВЫХ БРО-
НИРОВАНИЙ АВИАБИЛЕТОВ.

Основные принципы работы

1. Централизованная база данных:
 - - Sabre поддерживает обширную централизованную базу данных, содержащую информацию о рейсах, тарифах, наличии мест, бронированиях и другую информацию.
 - - Доступ к этой базе данных предоставляется авиакомпаниям, турагентствам и другим участникам отрасли.
2. Резервирование и бронирование:
 - - Агенты и пользователи могут в режиме реального времени производить поиск, сравнение и бронирование авиабилетов, гостиниц, аренды автомобилей и других туристических услуг.
 - - Sabre обеспечивает интеграцию с системами бронирования авиакомпаний, отелей и других поставщиков.
3. Управление маршрутами и ценообразованием:
 - - Система Sabre позволяет авиакомпаниям управлять маршрутной сетью, тарифами и специальными предложениями.
 - - Это помогает оптимизировать загрузку рейсов, доходность и конкурентоспособность.
4. Анализ данных и отчетность:
 - - Sabre предоставляет широкий спектр инструментов для анализа бронирований, продаж, рыночной доли и других ключевых метрик.
 - - Это помогает авиакомпаниям, гостиницам и туристическим агентствам принимать обоснованные управленческие решения.
5. Интеграция с другими системами:
 - - Система Sabre интегрируется с внутренними системами авиакомпаний, гостиниц и туристических агентств.
 - - Это обеспечивает эффективный обмен данными и согласованность операций.
6. Глобальный охват:
 - - Sabre представлена в более чем 160 странах мира, что позволяет обеспечивать доступ к широкому ассортименту туристических услуг по всему миру.



Sabre

1.2.2. Amadeus

Amadeus — это ведущая глобальная дистрибутивная система бронирования и комплексное решение для управления доходностью авиакомпаний. Она занимает одно из лидирующих положений на рынке инструментов управления доходами в авиационной отрасли.

В ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AMADEUS ЛЕЖАТ ПЕРЕДОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ НА БАЗЕ МНОГОЛЕТНЕГО ОПЫТА И СОТРУДНИЧЕСТВА С ВЕДУЩИМИ АВИАКОМПАНИЯМИ МИРА.

Ключевые элементы

1. Прогнозирование спроса

Amadeus использует комплексные статистические модели и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования спроса на авиаперевозки. Это позволяет с высокой точностью предсказывать количество пассажиров, их профили и предпочтения.

2. Оптимизация ценообразования

На основе спрогнозированного спроса, Amadeus применяет передовые методы динамического ценообразования. Это включает в себя алгоритмы определения оптимальных тарифов, учитывающие различные факторы, такие как сезонность, конкуренция, характеристики пассажиров и т.д.

3. Управление квотами бронирования

Amadeus предлагает инструменты для динамического управления квотами мест на рейсах с целью максимизации доходов. Эти методы основаны на математических моделях, позволяющих оптимально распределять доступную емкость между различными сегментами пассажиров.

4. Персонализация предложений

Система Amadeus включает в себя решения для персонализации предложений и повышения лояльности клиентов. Это достигается за счет анализа поведенческих данных пассажиров и применения методов таргетированного маркетинга.



Основные преимущества

1. Комплексность функционала

Amadeus предоставляет авиакомпаниям широкий спектр инструментов для управления доходностью, объединенных в единую интегрированную платформу.

2. Высокая точность прогнозирования

Благодаря передовым математическим моделям, Amadeus демонстрирует высокую точность прогнозирования спроса, что является ключевым фактором для эффективного управления доходами.

3. Гибкость и масштабируемость

Система Amadeus отличается высокой гибкостью, позволяющей адаптировать ее под конкретные требования авиакомпаний. Решение также обладает высокой масштабируемостью для поддержки операций любого размера.



Потенциальные недостатки

1. Высокая стоимость

Внедрение и использование комплексной системы Amadeus требует значительных финансовых инвестиций, что может быть ограничивающим фактором для некоторых авиакомпаний.

2. Зависимость от поставщика

Как и любое крупное интегрированное решение, Amadeus создает определенную зависимость авиакомпаний от поставщика, что может снижать их гибкость в долгосрочной перспективе.

3. Сложность внедрения

Ввиду сложности системы, процесс ее внедрения и интеграции с существующими информационными системами авиакомпаний может быть достаточно трудоемким и длительным.

Amadeus

1.2.3. Galileo

Galileo — это одна из ведущих глобальных дистрибутивных систем (ГРС) бронирования и управления доходами в авиационной отрасли. Как и другие ГРС, Galileo предоставляет авиакомпаниям широкий спектр инструментов для повышения эффективности их операций и максимизации доходов.

ОСНОВУ СИСТЕМЫ GALILEO СОСТАВЛЯЮТ ПЕРЕДОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ КОМАНДОЙ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ С МНОГОЛЕТНИМ ОПЫТОМ РАБОТЫ В АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ.

Ключевые элементы

1. Прогнозирование спроса

Galileo использует сложные статистические модели и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования спроса на авиаперевозки. Это позволяет с высокой точностью предсказывать количество пассажиров, их профили и предпочтения.

2. Динамическое ценообразование

На основе спрогнозированного спроса, Galileo применяет передовые методы динамического ценообразования. Алгоритмы системы определяют оптимальные тарифы, учитывая множество факторов, таких как сезонность, конкуренция, характеристики пассажиров и т.д.

3. Управление квотами бронирования

Galileo предлагает инструменты для динамического управления квотами мест на рейсах с целью максимизации доходов. Эти методы основаны на математических моделях, позволяющих оптимально распределять доступную емкость между различными сегментами пассажиров.

4. Персонализация предложений

Система Galileo включает в себя решения для персонализации предложений и повышения лояльности клиентов. Это достигается за счет анализа данных о поведении пассажиров и применения методов таргетированного маркетинга.



Основные преимущества

1. Комплексность функционала

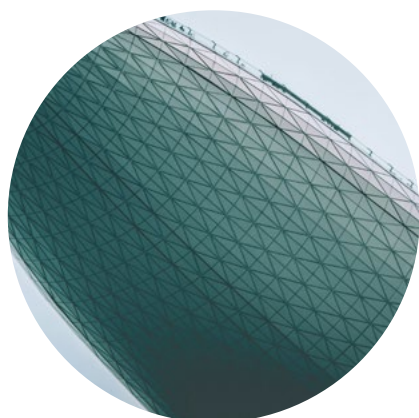
Galileo предоставляет авиакомпаниям широкий спектр инструментов для управления доходностью, объединенных в единую интегрированную платформу.

2. Высокая точность прогнозирования

Благодаря передовым математическим моделям, Galileo демонстрирует высокую точность прогнозирования спроса, что является критически важным фактором для эффективного управления доходами.

3. Гибкость и масштабируемость

Система Galileo отличается высокой гибкостью, позволяющей адаптировать ее под конкретные требования авиакомпаний. Решение также обладает высокой масштабируемостью для поддержки операций любого размера.



Потенциальные недостатки

1. Высокая стоимость

Внедрение и использование комплексной системы Galileo требует значительных финансовых инвестиций, что может быть ограничивающим фактором для некоторых авиакомпаний.

2. Зависимость от поставщика

Как и любое крупное интегрированное решение, Galileo создает определенную зависимость авиакомпаний от поставщика, что может снижать их гибкость в долгосрочной перспективе.

3. Сложность внедрения

Ввиду комплексности системы, процесс ее внедрения и интеграции с существующими информационными системами авиакомпаний может быть достаточно трудоемким и длительным.



Galileo

1.2.4. Сирена

Сирена — это еще одна ведущая глобальная дистрибутивная система (ГРС) бронирования и управления доходами в авиационной отрасли. Подобно другим крупным игрокам на этом рынке, Сирена предоставляет авиакомпаниям широкий набор инструментов для повышения эффективности их операций и максимизации доходов.

В ОСНОВЕ СИСТЕМЫ СИРЕНА
ЛЕЖАТ ПЕРЕДОВЫЕ МАТЕ-
МАТИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕ-
СКИЕ МЕТОДЫ, РАЗРАБОТАН-
НЫЕ КОМАНДОЙ ЭКСПЕРТОВ
С МНОГОЛЕТНИМ ОПЫТОМ В
АВИАЦИОННОЙ ИНДУСТРИИ.

Ключевые элементы

1. Прогнозирование спроса

Сирена использует сложные статистические модели и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования спроса на авиаперевозки. Это позволяет с высокой точностью предсказывать количество пассажиров, их профили и предпочтения.

2. Динамическое ценообразование

На основе спрогнозированного спроса, Сирена применяет передовые методы динамического ценообразования. Алгоритмы системы определяют оптимальные тарифы, учитывая множество факторов, таких как сезонность, конкуренция, характеристики пассажиров и т.д.

3. Управление квотами бронирования

Сирена предлагает инструменты для динамического управления квотами мест на рейсах с целью максимизации доходов. Эти методы основаны на математических моделях, позволяющих оптимально распределять доступную емкость между различными сегментами пассажиров.

4. Персонализация предложений

Система Сирена включает в себя решения для персонализации предложений и повышения лояльности клиентов. Это достигается за счет анализа данных о поведении пассажиров и применения методов таргетированного маркетинга.

Основные преимущества

1. Комплексность функционала

Сирена предоставляет авиакомпаниям широкий спектр инструментов для управления доходностью, объединенных в единую интегрированную платформу.

2. Высокая точность прогнозирования

Благодаря передовым математическим моделям, Сирена демонстрирует высокую точность прогнозирования спроса, что является ключевым фактором для эффективного управления доходами.

3. Гибкость и масштабируемость

Система Сирена отличается высокой гибкостью, позволяющей адаптировать ее под конкретные требования авиакомпаний. Решение также обладает высокой масштабируемостью для поддержки операций любого размера.



Потенциальные недостатки

1. Высокая стоимость

Внедрение и использование комплексной системы Сирена требует значительных финансовых инвестиций, что может быть ограничивающим фактором для некоторых авиакомпаний.

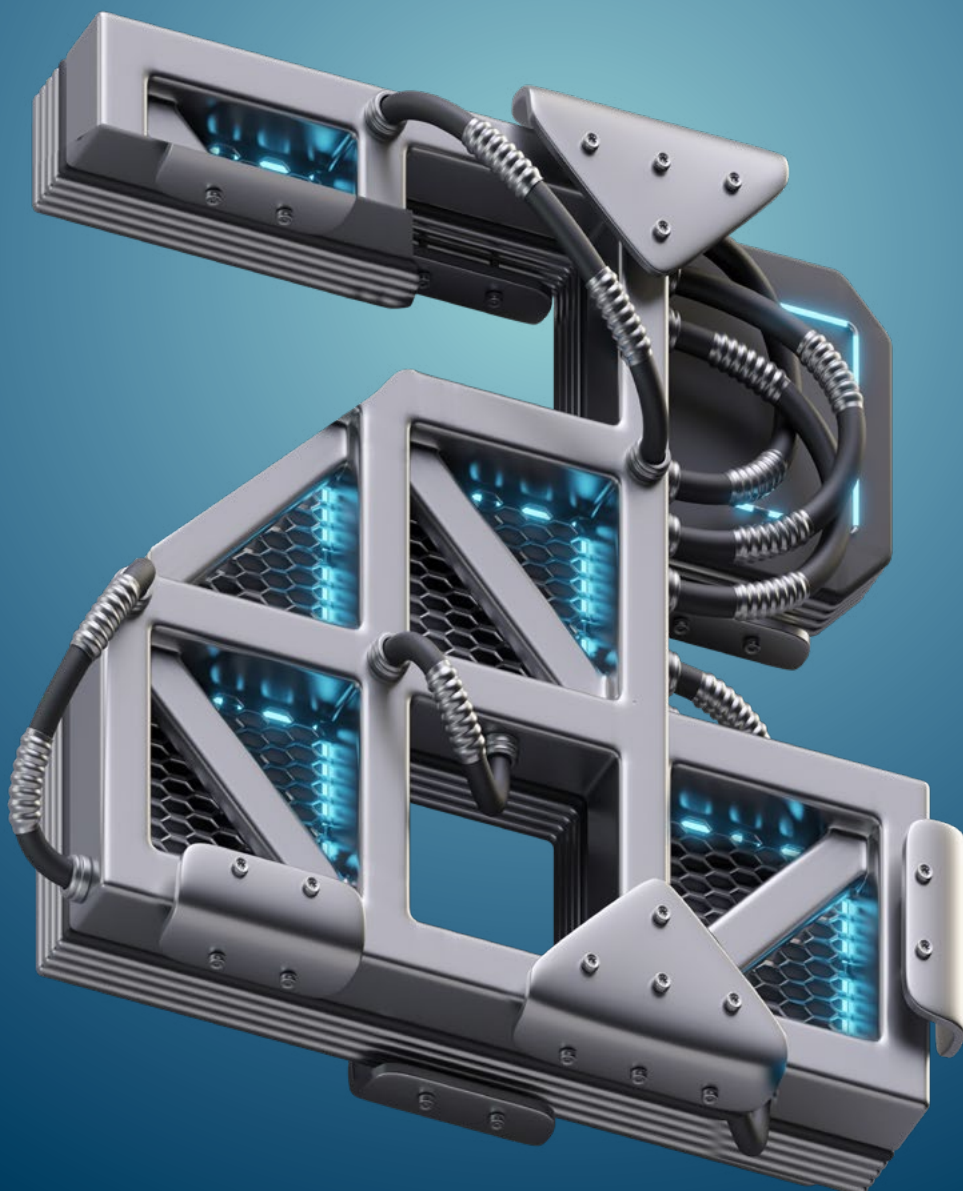
2. Зависимость от поставщика

Как и любое крупное интегрированное решение, Сирена создает определенную зависимость авиакомпаний от поставщика, что может снижать их гибкость в долгосрочной перспективе.

3. Сложность внедрения

Ввиду комплексности системы, процесс ее внедрения и интеграции с существующими информационными системами авиакомпаний может быть достаточно трудоемким и длительным.







2. Разработка моделей для системы управления доходностью Аэрофлота

- 2.1. Динамика бронирования вылетевшего рейса
- 2.2. Динамики бронирования продаваемого рейса
- 2.3. Расчет среднего числа неявок (no-show) вылетевшего рейса
- 2.4. Расчет среднего числа отмен (cancellation) вылетевшего рейса



Разработка моделей для системы управления доходностью Аэрофлота

2.1. Динамика бронирования вылетевшего рейса

Для моделирования исследуются данные, которые представляют собой временные ряды. Из анализа данных можно сделать следующие выводы:

1. Анализ спроса на перевозки

- Тренд: В долгосрочном периоде наблюдается устойчивый рост спроса на авиаперевозки, обусловленный ростом благосостояния населения и увеличением деловой активности.

- Сезонность: Ярко выраженная сезонность с пиками в летние месяцы и периоды школьных каникул, а также перед праздниками. Более низкий спрос в зимний период.

- Дневная динамика: Наблюдаются пиковые периоды в утренние и вечерние часы, связанные с бизнес-поездками. Ночные рейсы, как правило, менее загружены.

- Влияние праздников и выходных: Спрос значительно возрастает в период национальных праздников, школьных каникул, выходных дней, что необходимо учитывать при планировании.

2. Анализ структуры пассажиропотока

- Сегментация по целям поездки: Доля деловых и туристических пассажиров, их предпочтения и чувствительность к цене.

- Сегментация по классам обслуживания: Соотношение пассажиров в эконом, бизнес и первом классах, их динамика.

- Анализ демографических характеристик: Возраст, пол, семейное положение пассажиров.

3. Анализ ценовой политики

- Динамика средних тарифов: Влияние сезонности, конкуренции, экономической ситуации.

- Эффективность динамического ценообразования: Оценка влияния изменения тарифов на загрузку рейсов и доходность.

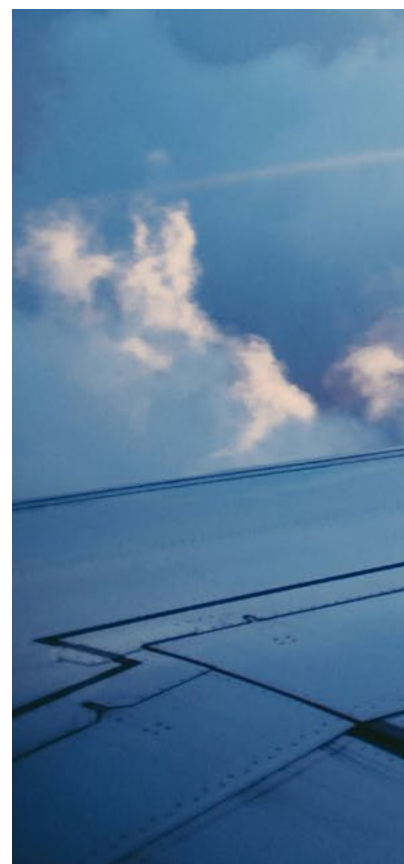
- Ценовая чувствительность различных сегментов пассажиров.

4. Анализ операционных показателей

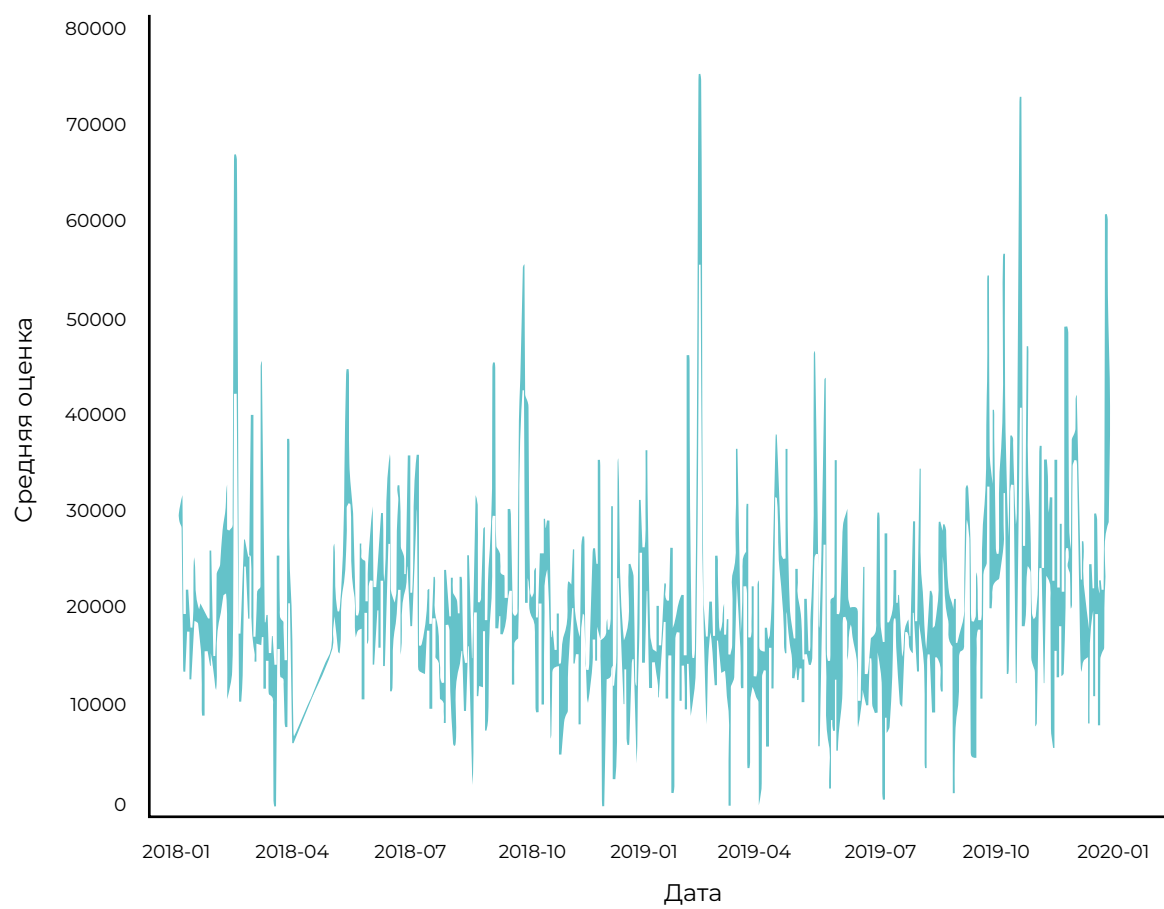
- Загрузка рейсов: Оценка эффективности управления квотами мест.

- Показатели занятости пассажирских кресел (Load Factor).

- Динамика доходов на одного пассажира (RASM).

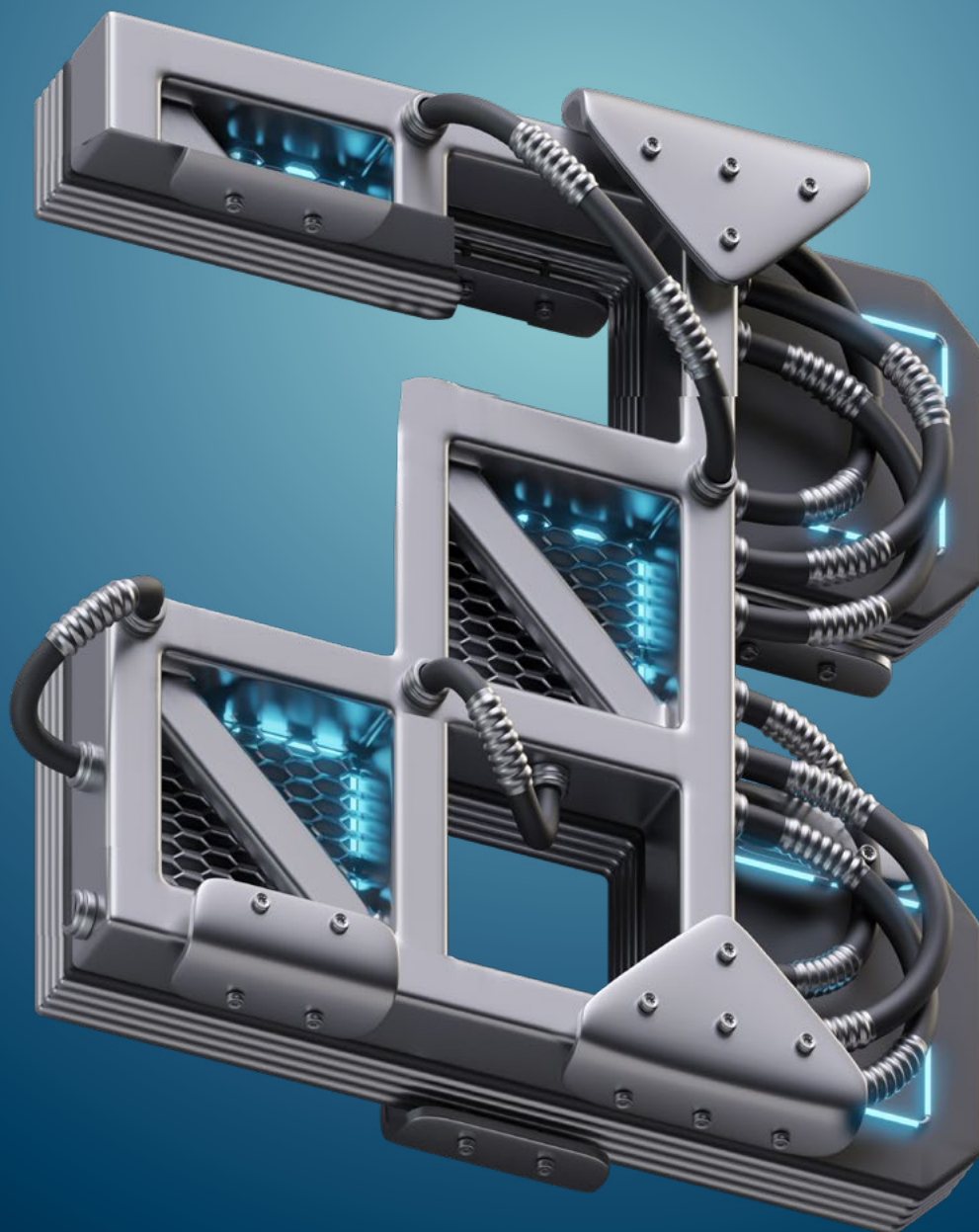


2. Разработка моделей для системы управления доходностью Аэрофлота



Средние цены с 2018 по 2020 годы







3. Методология оценки моделей

3.1. Прототип и имитация его работы

3.2. Апробация прототипа на реальных данных

3.3. Сравнительный анализ моделей

3.4. Выводы по 3 главе



Методология оценки моделей

3.1. Прототип и имитация его работы

Разработка прототипа начинается с настройки профиля рейса.

Профиль рейса – это обобщенная характеристика, описывающая средние показатели спроса, загрузки и доходности для совокупности рейсов, выполняемых между одной и той же парой городов (или аэропортов) вылета и прилета.

Для оптимальной работы прототипа было реализовано два подхода настройки профиля рейса. После чего был проведен эксперимент по основному выбору метода настройки прототипа.

Описание эксперимента

Гипотеза: Расчет профиля рейсов с учетом дней недели вылета и времени существенно влияет на доходность, по сравнению с расчетом профиля без учета времени и дня недели вылета.

Суть эксперимента:

1. С помощью имитационного моделирования сгенерированы данные по 20 рейсам, распределенным по 4 маршрутам. В имитационное моделирование был заложен Метод Монте-Карло.

Метод Монте-Карло – это класс вычислительных алгоритмов, использующих случайные числовые эксперименты для получения численных решений математических задач. Он широко применяется в имитационном моделировании, чтобы учесть влияние случайных факторов.

В контексте этого эксперимента метод Монте-Карло реализован следующим образом:

А) Определение вероятностных распределений: для каждого из признаков, таких как D.Real, D.Model, Delta.Real, Delta.Model и др., были заданы вероятностные распределения, которые отражают реальную изменчивость

этих параметров. Например, дата вылета (D.Real) может быть описана нормальным распределением со средним значением и стандартным отклонением, характерными для рассматриваемых маршрутов.

Б) Генерация случайных значений: используя генератор случайных чисел, для каждого рейса по каждому признаку были сгенерированы случайные значения в соответствии с заданными вероятностными распределениями. Это позволило имитировать реальную изменчивость параметров рейсов.

В) Формирование наборов данных: совокупность случайно сгенерированных значений для всех признаков образовала один набор данных, соответствующий одному рейсу. Таким образом, было сформировано 20 наборов данных, представляющих 20 рейсов на 4 маршрутах.

Г) Повторение экспериментов: для повышения статистической достоверности результатов, процесс генерации случайных значений и формирования наборов данных мог быть повторен несколько раз (например, 100 или 1000 итераций). Это позволило получить более устойчивые оценки исследуемых параметров.

Использование метода Монте-Карло в дан-



СРЕДНИЙ ПРИРОСТ ДОХОДА ПО МЕТОДУ 1 СОСТАВИЛ -5,3%, ПО ВТОРОМУ МЕТОДУ – 3,7%. ПРИМЕНЯЯ КРИТЕРИЙ Т-СТЬЮДЕНТА РАССЧИТЫВАЕМ P-VALUE. ОНО СОСТАВЛЯЕТ 6,7E-0,4, ЧТО ГОВОРIT О СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМОМ РАЗЛИЧИИ. СЛЕДОВАТЕЛЬНО, НАША ГИПОТЕЗА (РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ РЕЙСОВ С УЧЕТОМ ДНЕЙ НЕДЕЛИ ВЫЛЕТА И ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВЕННО ВЛИЯЕТ НА ДОХОДНОСТЬ, ПО СРАВНЕНИЮ С РАСЧЕТОМ ПРОФИЛЯ БЕЗ УЧЕТА ВРЕМЕНИ И ДНЯ НЕДЕЛИ ВЫЛЕТА) ДЛЯ ДАННОГО РЕЙСА ПОДТВЕРЖДАЕТСЯ.

ном эксперименте позволило имитировать реалистичную изменчивость различных факторов, влияющих на характеристики рейсов, и провести анализ на основе сгенерированных данных.

2. Для каждого рейса были собраны следующие признаки:

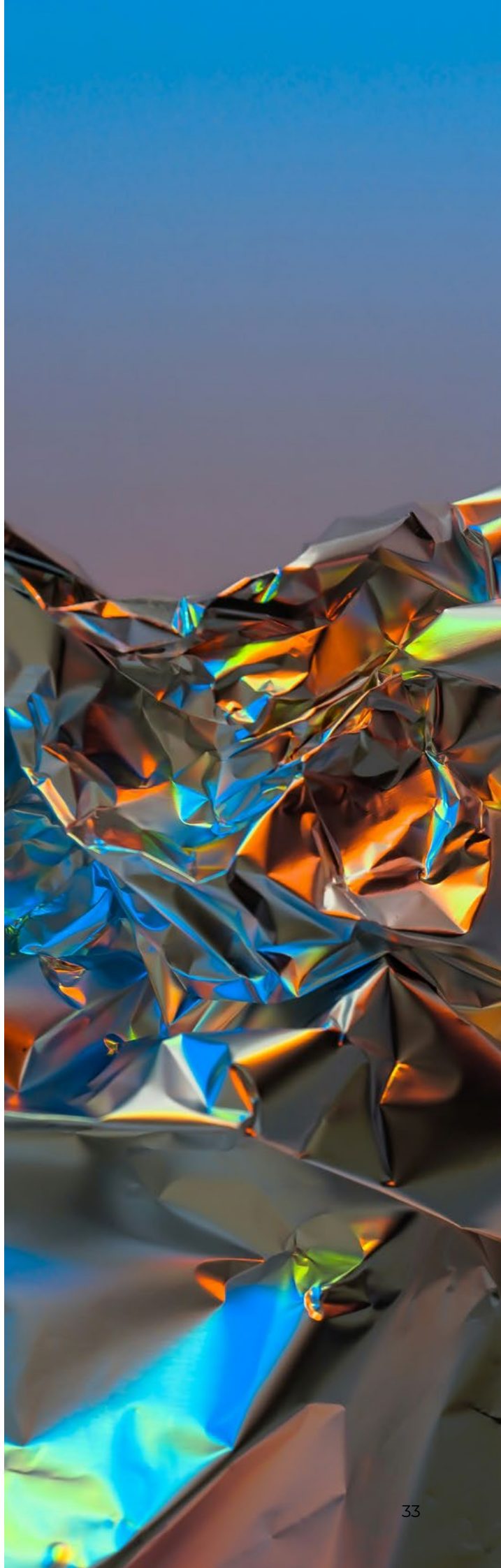
- D.Real - фактическая дата вылета
- D.Model - модельная дата вылета
- D.Profile - дата, используемая для расчета профиля рейса
- Delta.Real - фактическое отклонение загрузки от профиля
- Delta.Model - модельное отклонение загрузки от профиля
- Eff - эффективность управления загрузкой
- RES - резервирование мест
- CAP - провозная емкость
- SKBO.1 - загрузка в первый день продаж
- SKBO.3 - загрузка за 3 дня до вылета
- SKBO.5 - загрузка за 5 дней до вылета
- SKBO.10 - загрузка за 10 дней до вылета

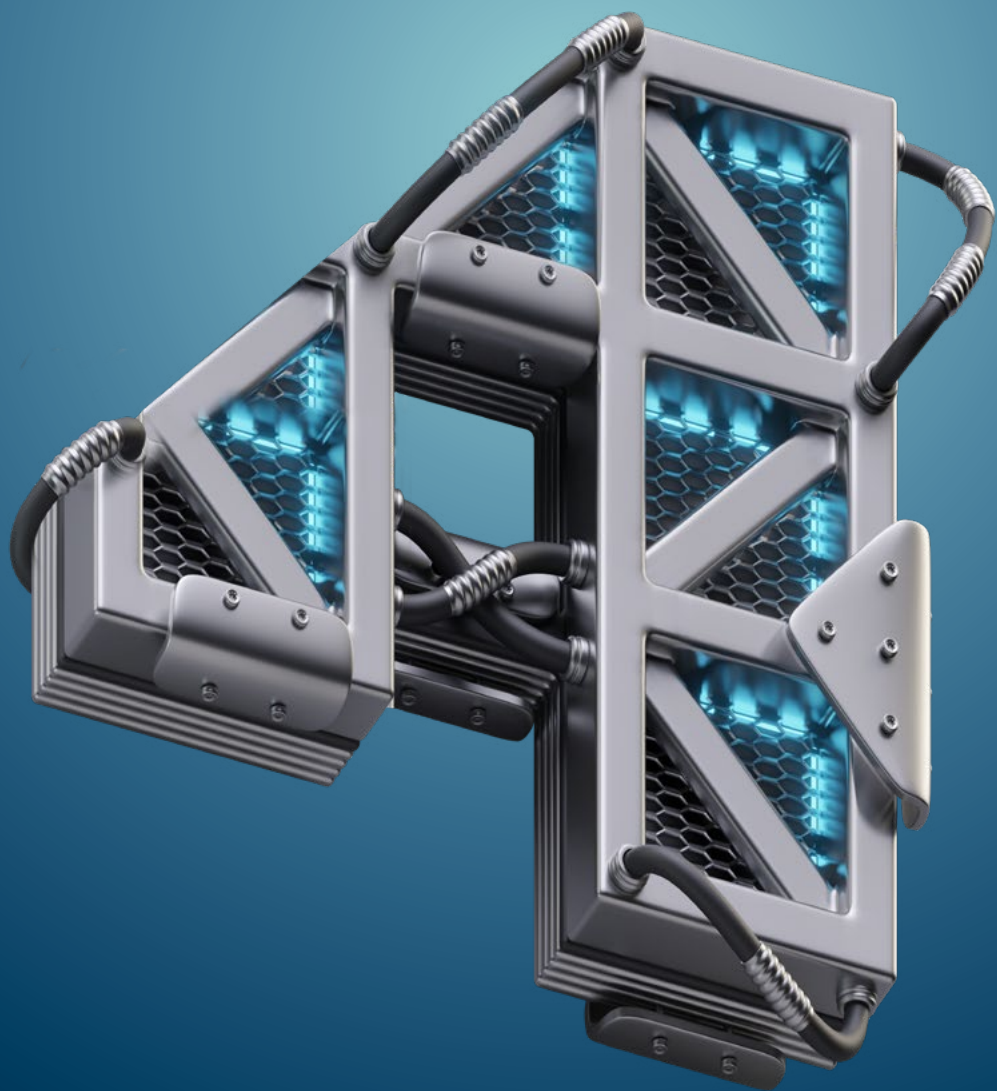
3. Метод сравнения:

Для сравнения средних приростов доходности использовался t-критерий Стьюдента. Это статистический критерий, позволяющий оценить, является ли разница между двумя средними значениями случайной или статистически значимой.

Были рассмотрены следующие рейсы:

1. Рейс №1192 Москва – Казань, 2024-06-23, воскресенье 16.05







4. Техническая реализация моделей

4.1. Разработка спецификации API

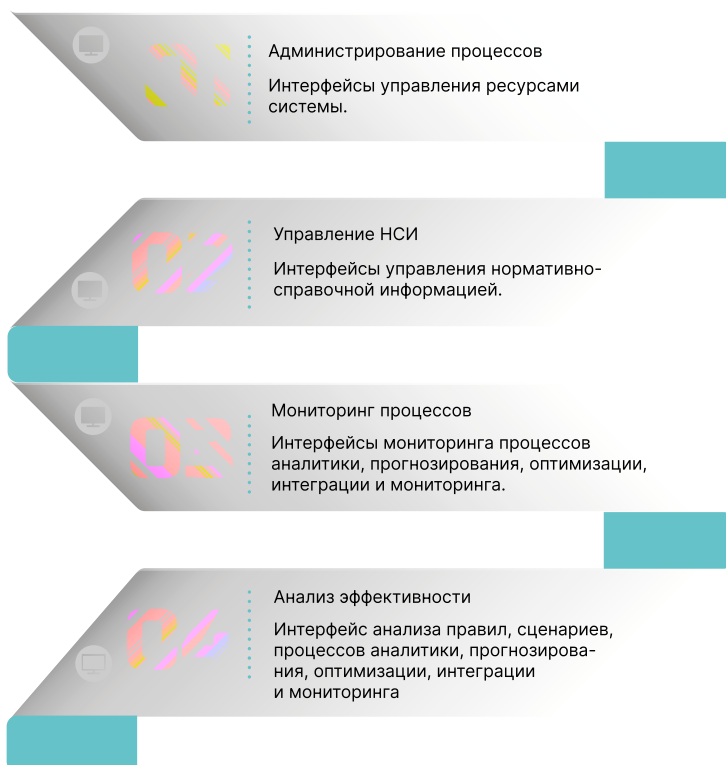


Техническая реализация моделей

4.1. Разработка спецификации API

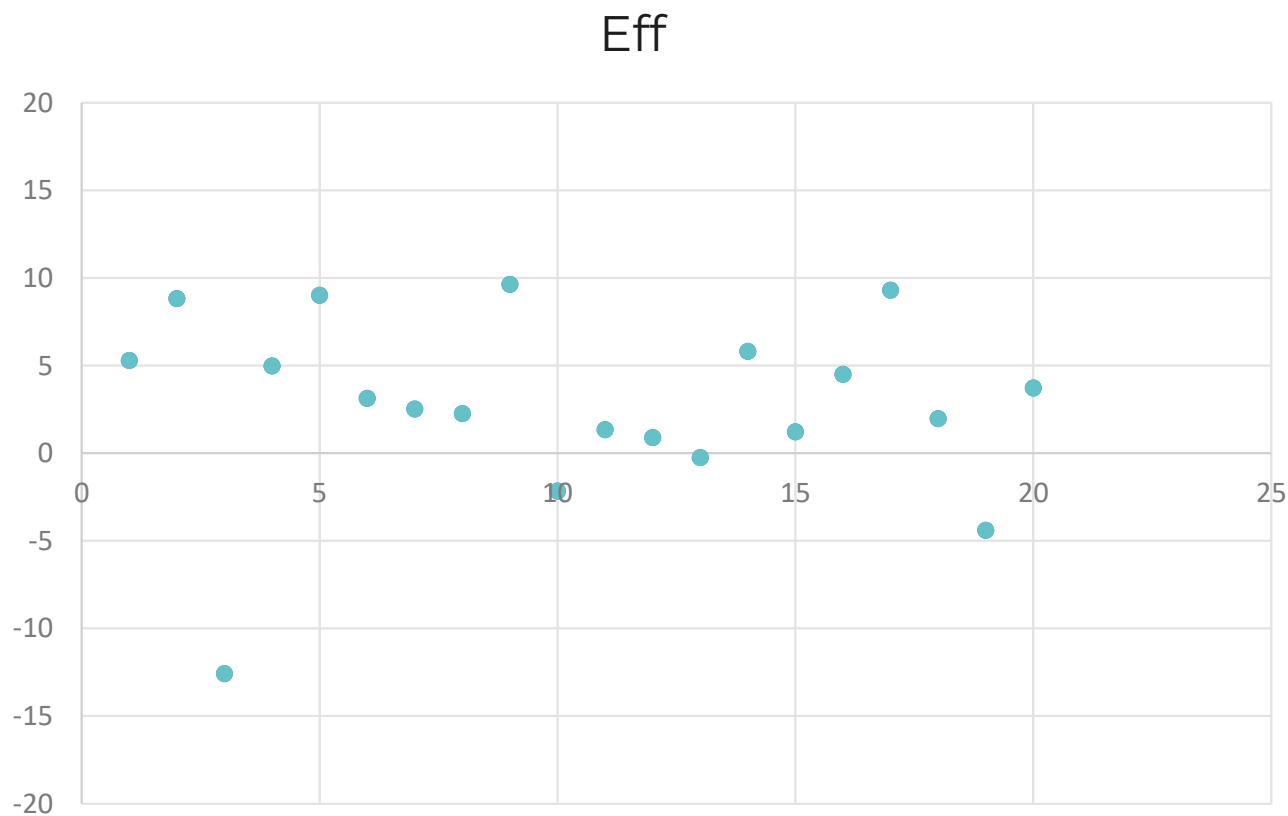
Инструкция

1. **Файл Make_Profiles.R** – создает требуемый формат данных из переданных АФЛТ данных.
2. **Read_Profiles.R** – создает массивы данных в нужном формате.
3. **Optimum_PROTOTYPE_06_PROF_CLASS.R** – инициализирует процедуры и функции модулей динамической оптимизации и динамического прогнозирования.
4. **Fly_PROTOTYPE_06_PROF_CLASS.R** – реализует имитационную продажу одного выбранного рейса.
5. **Block_PROTOTYPE_06_PROF_CLASS.R** – реализует полный имитационный метод Монте-Карло, т.е. реализует массовую продажу одного выбранного рейса с оценкой средних.



Блок управления системой

Визуализация работы математических моделей



Среднее	2,75
Стандартная ошибка	1,168821719
Медиана	2,825
Стандартное отклонение	5,227129634
Дисперсия выборки	27,32288421
Эксцесс	2,814941269
Асимметричность	-1,223848847
Интервал	22,21
Минимум	-12,58
Максимум	9,63
Сумма	55
Счет	20
Уровень надежности (95,0%)	2,446371973

Для прогнозирования классов кабины был выбран механизм автокорреляции. Механизм автокорреляции позволяет выявлять зависимости на основе периодов и агрегировать информацию на уровне рядов. Это придает модели логарифмическую линейную сложность.

ПРЕИМУЩЕСТВА

ПО СРАВНЕНИЮ С АМЕРИКАНСКОЙ СИСТЕМОЙ SABRE



ТОЧНОСТЬ

68%

точность прогнозирования
у Sabre

до 90%

в нашем продукте.

в 4-5 раз

уменьшение ошибки
за счет математических методов



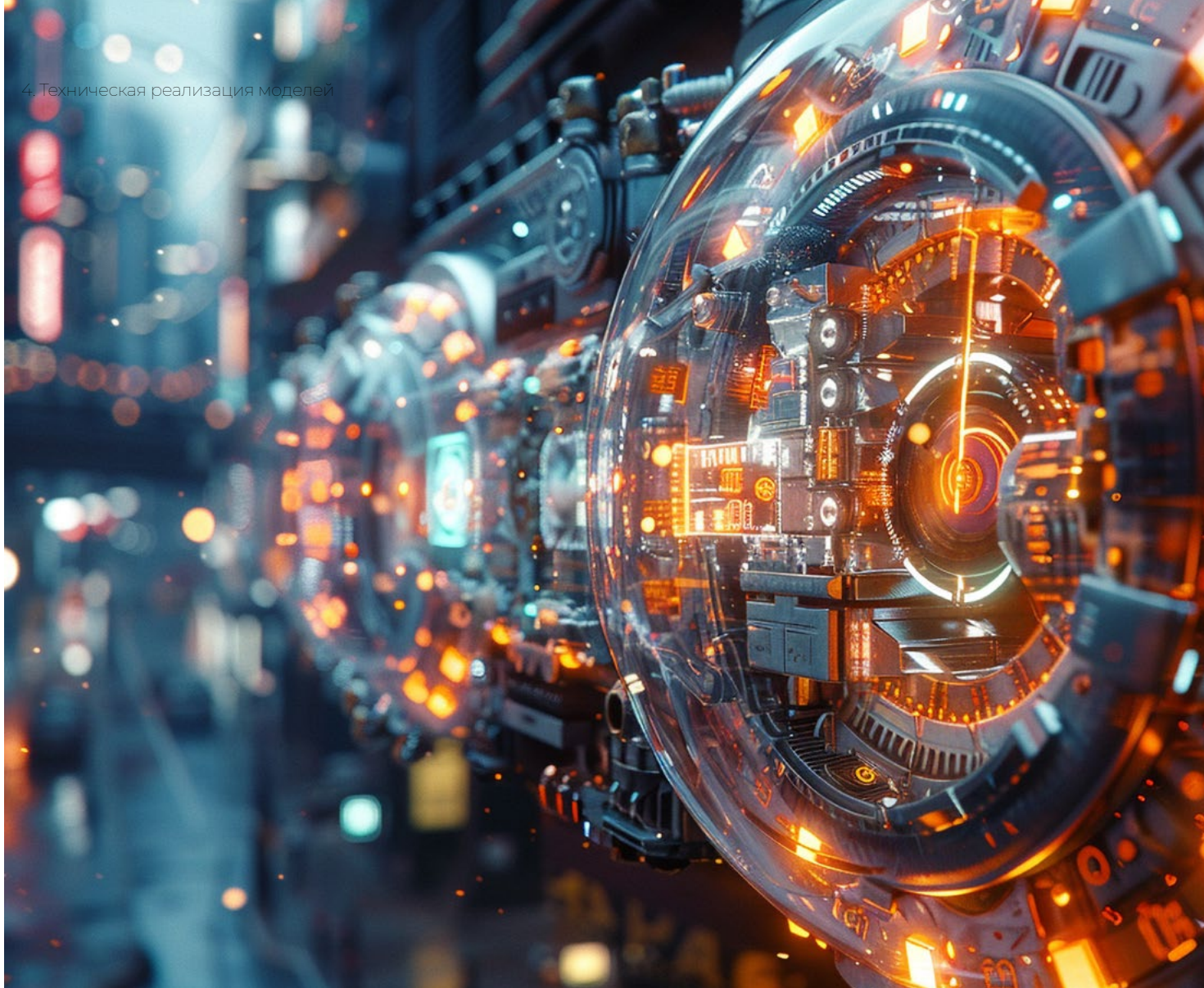
ВЕРИФИКАЦИЯ

Сглаживание прогноза

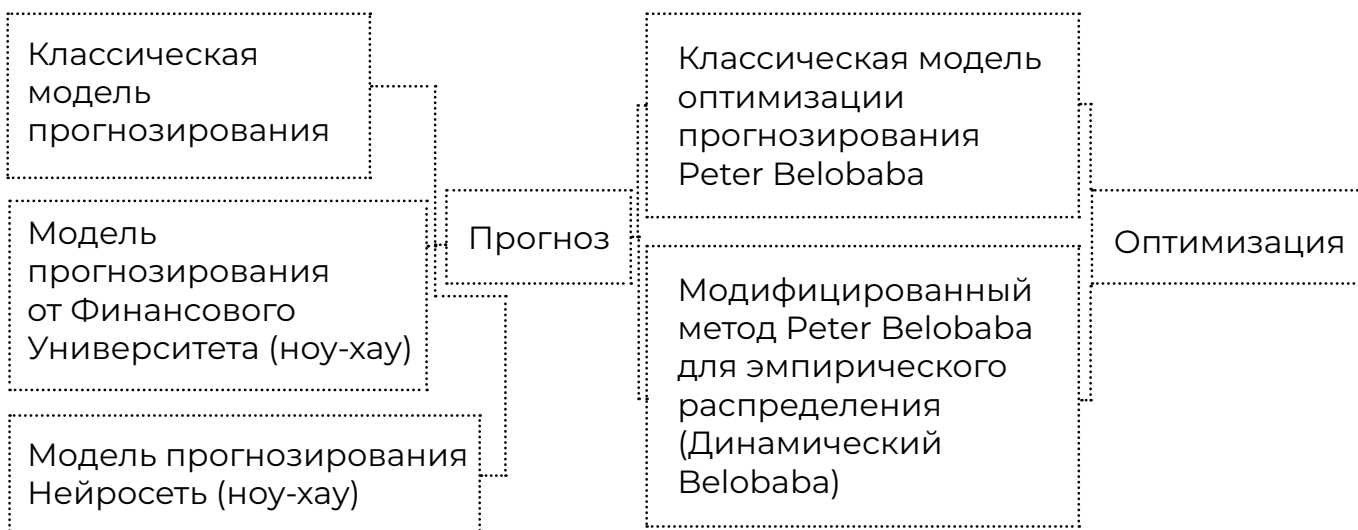


АВТОМАТИЗАЦИЯ

Автоматизированное управление
открытием и закрытием продаж
по классам



Архитектура интегрального процесса прогнозирования спроса и оптимизации дохода на базе классических, эксклюзивных математических моделей и нейронной сети.



Состав участников

со стороны Финансового университета по проекту «Разработка математических моделей для автоматизированной системы управления доходностью Аэрофлота»

Остапенко Григорий Александрович
д.т.н., куратор проекта

Корчагин Сергей Алексеевич
к.ф.-м.н., руководитель проекта

Зададаев Сергей Алексеевич
к.ф.-м.н., руководитель группы математиков,
главный математик

Феклин Вадим Геннадьевич
к.ф.-м.н., ведущий математик

Савинов Евгений Анатольевич
к.ф.-м.н., ведущий математик

Коровин Дмитрий Игоревич
к.ф.-м.н., д.э.н., ведущий математик

Шарипов Данила Алексеевич
аспирант, математик-стажер

Карпеев Дмитрий Олегович
к.т.н., руководитель группы разработчиков

Савин Дмитрий Александрович
к.т.н., ведущий программист

Косицын Андрей Александрович
ведущий программист

Казаков Дмитрий Александрович
ведущий программист

Бонч-Бруевич Андрей Михайлович
программист

Никитин Петр Владимирович
к.пед.н., руководитель группы искусственного
интеллекта

Андриянов Никита Андреевич
к.т.н., разработчик моделей машинного обуче-
ния

Алюнов Александр Николаевич
к.т.н., разработчик моделей машинного обуче-
ния

Жолобов Олег Андреевич
студент, разработчик нейронных сетей

Кондрашов Дмитрий Михайлович
студент, разработчик нейронных сетей



ПОДСИСТЕМА ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИТЬ АВТОМАТИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ «ПРОГНОЗИРОВАТЬ»: ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА И ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСА И «ОПТИМИЗИРОВАТЬ»: ОПТИМИЗАЦИЮ ДОХОДА ОТ ПРОДАЖИ ПЕРЕВОЗОК ЗА СЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ РЕЙСОВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ВХОДЯЩИХ В СИСТЕМУ АСУД.



Петриков Артем Евгеньевич

студент, разработчик нейронных сетей

Пузаков Антон Валерьевич

студент, разметка данных, обучение нейронных сетей

Дьяков Андрей Анатольевич

студент, разметка данных, обучение нейронных сетей

Пронин Константин Михайлович

студент, разметка данных, обучение нейронных сетей

Кусербаев Карим Ильгамович

студент, разметка данных, обучение нейронных сетей

Шаталова Алевтина Юрьевна

веб-дизайнер

Горохова Римма Ивановна

к.пед.н., технический писатель

Догадина Елена Петровна

к.т.н., технический писатель

Ковылов Никита Николаевич

магистрант, технический писатель

Рубцов Дмитрий Юрьевич

аспирант, технический писатель

Стефанишин Сергей Николаевич

обеспечение инфраструктуры проекта

Беспалова Наталья Викторовна

к.т.н., техническое сопровождение проекта

Кочкаров Расул Ахматович

к.э.н., административное сопровождение проекта

Солодова Марина Валерьевна

административное сопровождение проекта

Лосев Антон Алексеевич

пресейл-менеджер

