

**К. А. Мозговая<sup>1</sup>**

аспирант кафедры экономической кибернетики и математических методов в экономике Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

**Е. В. Носова<sup>2</sup>**

аспирант кафедры экономической кибернетики и математических методов в экономике Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

## **УПРАВЛЕНИЕ ДОХОДАМИ АВИАКОМПАНИИ И НАЗНАЧЕНИЕ СТРАТЕГИИ ПРОДАЖИ БИЛЕТОВ С УЧЕТОМ СВЕРХЛИМИТНОЙ ВМЕСТИМОСТИ НА РЕЙСЕ**

### **Введение**

Чтобы преуспеть в условиях сложного воздействия внешних факторов и найти баланс между рассогласованными внутренними силами — начиная от служб управления полетами и заканчивая службами по работе с клиентами, маркетинга или аналитики, современная авиакомпания вынуждена применять новейшие разработки автоматизации бизнес-процессов. Контроль и модернизация предлагаемых услуг превращаются в ключевую задачу по укреплению конкурентоспособности, с которой сегодня сталкиваются авиаперевозчики.

Одним из путей максимизации дохода в гражданской авиации является применение методов управления доходами (*Revenue Management*) — оптимизации продаж билетов на рейсы путем установления ограничений на количество доступных мест в различных ценовых классах. Управление доходами позволяет эффективнее использовать имеющиеся у авиакомпаний ресурсы, тем самым увеличивая их прибыль.

Интенсивное развитие операционных систем управления доходами началось в 1980-е гг. Их первоначальная функция заключалась в сборе и обработке статистических данных по состоявшимся рейсам. Впоследствии более продвинутые компании стали внедрять в свою практику системы управления доходами, позволяющие не только прогнозировать потребительский спрос, но и оптимизировать продажу авиабилетов согласно установленным тарифам. Автоматизация управления доходами существенно расширила возможности авиакомпаний в области ценообразования, оперативной работы с тарифами и классами бронирования, долгосрочного и текущего прогнозирования спроса и выставления более сбалансированного предложения (Barnhart, Velobaba, 2003).

Автоматизированные системы управления дают возможность моделировать оптимальное с точки зрения дохода распределение мест по ценовым классам, а также снизить риски недозагрузки воздушного судна и прогнозировать эф-

<sup>1</sup> Эл. адрес: kristina.mozg@gmail.com

<sup>2</sup> Эл. адрес: laele44@rambler.ru

фективность продаж. Оптимальное распределение мест и реакция пассажиров на ценовую политику авиаперевозчика будут затем отражены и в выборе типа воздушного судна (ВС), и даже в планировании расписания.

### Российские авиакомпании на фоне мировой авиаотрасли

Хотя российские авиакомпании и продолжают в целом наращивать рынок пассажирских авиаперевозок, показатели эффективности использования воздушного парка снижаются. Процент занятости пассажирских кресел снизился на 1,5% (составил 74,4%) в первом полугодии 2011 г. Предложение превысило спрос на 10 млн пассажирских кресел — на 2 млн кресел больше, чем в аналогичном полугодии 2010 г. (АЭВТ Aviation, 2011).

На основе статистических данных проведен анализ объемов статистических данных по пассажирообороту, парку воздушных судов перевозчиков, проценту занятости воздушного судна по более чем 100 крупнейшим авиакомпаниям мира, который в полной мере отражает мировую тенденцию развития пассажирского воздушного флота (Мозговая, Фридман, Яблочкина, 2011).

В таблице приведены страны, авиакомпании которых являются лидерами по пассажирским перевозкам по всем указанным показателям, и лидирующая по пассажиропотоку компания конкретной страны.

Данные по пассажиропотоку российской лидирующей компании по сравнению с компаниями других стран, представленные в таблице, позволяют сделать вывод, что для увеличения занятости кресел воздушного судна необходимо внедрение новых оптимизационных стратегий управления доходами авиаперевозчика. В противном случае стремительно возрастающая конкурентоспособность европейских и азиатских авиаперевозчиков в скором будущем вытеснит представителей российской пассажирской авиаиндустрии на периферию рынка международных авиаперевозок. Авиаперевозчикам следует определить новые источники дохода, чтобы компенсировать возрастающие цены на топливо и оставаться конкурентоспособными и рентабельными в долгосрочной перспективе.

Таблица

#### Ведущие авиакомпании по пассажирским перевозкам

№ п/п	Страна	Компания — лидер данной страны по всем показателям	Пассажиропоток, млн чел.
1	США	Delta Air Lines	161,0
2	Китай	China Southern	66,3
3	Великобритания	British Airways	31,8
4	Германия	Lufthansa	55,6
5	Франция	Air France – KLM	71,4
6	Япония	Japan Airlines	41,4
7	Австралия	Qantas	38,4
8	Ирландия	Ryanair	65,3
9	Индия/Индонезия	Jet Airways	12,0
10	Канада	Air Canada	30,9
11	Бразилия	TAM Linhas Aereas	30,4
12	Южная Корея	Korean Air	20,7
13	Турция	Turkish Airlines	25,1
14	Испания	Iberia	20,5
15	Россия	Аэрофлот	8,8
16	Малайзия	AirAsia	14,3

Автоматизация процессов маркетингового управления в авиакомпаниях России находится в начале своего развития. Сейчас российские авиакомпании начинают активно использовать зарекомендовавшие себя на Западе программные инструменты, использующие различные математические модели для составления оптимального расписания, ценообразования и управления доходами.

На текущий момент в мире разработано и успешно применяется большое количество автоматизированных систем управления доходами, предназначенных для нужд гражданской авиации. Так, например, среди российских «гигантов» авиакомпания «Аэрофлот» применяет с 2004 г. автоматизированную систему управления доходами от разработчика Sabre Airline Solutions. ФГУП «ГТК «Россия» (сейчас «Авиакомпания «Россия») приобрела в 2008 г. программный продукт Lufthansa Systems Rembrandt. Один из первых отечественных *low-cost* перевозчиков — авиакомпания «Авианова» использует американскую систему *airRM* от *Revenue Management Systems, Inc.* При этом большинство небольших региональных авиакомпаний вообще не знакомы с практикой управления доходами или пытаются применять некоторые методы в ручном режиме (без использования автоматизированных систем). И если крупные авиакомпании могут позволить себе приобретать относительно дорогие западные продукты, производящие оптимизацию продажи билетов на уровне сети маршрутов, то небольшим региональным авиакомпаниям необходимо начинать с оптимизации на уровне рейса, которая требует меньших вычислительных, а значит, и финансовых затрат. Поэтому важно понять, какие модели применительно к российской действительности могут дать наилучший результат.

### Сверхлимитные продажи

Одновременно с прогнозированием пассажирского спроса на рейсе возникает необходимость учета неявок пассажиров к регистрации и отказов от бронирования, для того чтобы не упустить дополнительную прибыль и не возить незанятые места. Анализ статистических данных по пассажиропотоку эксплуатантов США показывает, что неявка пассажиров к регистрации составляет как минимум 12%, что приводит к значительному недополучению ожидаемого дохода. Однако уровень этого показателя снижается: в 1990-е гг. неявка пассажиров составляла 20%. Такое изменение показателя неявки заставляет аккуратнее проводить расчет виртуальной вместимости для конкретного рейса.

Одним из решений проблемы свободных мест в самолете стало внедрение практики сверхлимитных продаж на авиарейсах. Возникновение его связано с маркетинговой политикой, которую проводили авиакомпании США в 1950-е гг. еще до того, как стратегию с использованием виртуальной вместительности внедрили в систему управления доходами авиаперевозчика.

Сверхлимитные продажи (*overbooking*) — продажа большего, чем вместимость самолета, количества билетов для того, чтобы компенсировать потери в связи с неявкой пассажиров к регистрации на рейс (Talluri, van Ryzin, 2005). Для определения размера виртуальной емкости решается задача максимизации прибыли, равной доходу от продажи билетов на рейс, за вычетом ожидаемых потерь, связанных с выплатой компенсаций «лишним» пассажирам на рейсе в случае продажи большего количества мест, чем физическая емкость воздушного судна, и зависящих от усредненной вероятности появления пассажира, купившего билет, на предполетной регистрации.

Метод сверхлимитного бронирования как одна из важнейших стратегий управления доходами позволяет получать дополнительный доход 4—6% по сравнению с продажей билетов исходя из физической емкости воздушного судна.

Внедрение данной стратегии не требует дополнительных затрат — трудовых или технических — для перевозчика, однако позволяет получать дополнительный доход без увеличения тарифов, оставаясь таким образом конкурентоспособным (Belobaba, 1992).

Вероятность появления пассажиров на предполетной регистрации зависит непосредственно от самого рейса: от сезонности его выполнения, пункта отправления и времени совершения полета (Яблочкина, 2011).

Развитие информационных технологий предоставляет возможность заранее проводить *on-line*-регистрацию на рейсе, что позволяет обозначить количество «лишних» пассажиров, представленных к пересадке.

По данным Департамента транспорта США, зафиксировано снижение показателя количества пересаживаемых пассажиров. По сравнению с данными 1990-х гг., недобровольная пересадка пассажиров с одного рейса на другой составляла 7 из 10 000, к 2005 г. данный показатель снизился до 1 пассажира из 10 000. Это означает, что точность прогноза пассажирского спроса и вероятности появления пассажиров к регистрации существенно влияет на размер компенсационных выплат «лишним» пассажирам.

При известных средней цене  $T$  билета на рейс, физической емкости  $Cap$  назначенного на рейс и прогнозе осредненной вероятности  $p$  появления пассажира, купившего билет, на предполетной регистрации (так называемый *show rate*), задача состоит в нахождении величины  $B$  — виртуальной емкости, при которой выражение  $R(B)$  достигает максимума:

$$R(B) = BT - C_R TB(1 - p) - F(B, p, Cap) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $F(B, p, Cap)$  — компенсационная функция, определяющая размер ожидаемых потерь, связанных с выплатой компенсаций «лишним» пассажирам на рейсе в случае продажи  $B$  билетов на рейс емкостью  $Cap$ ; при этом  $F(B, p, Cap) = 0$  для  $B \leq Cap$ . Коэффициент  $0 \leq C_R \leq 1$  показывает долю средней цены билета  $T$ , возвращаемую пассажиру в случае его неявки к регистрации.

Первое слагаемое в формуле (1) представляет собой доход от продажи  $B$  билетов на рейс, а второе и третье — ожидаемые потери, связанные с этими продажами. Таким образом, величина  $R(B)$  — это ожидаемая прибыль, которую следует максимизировать.

Оптимальное значение виртуальной емкости  $B$  используется затем для расчета пределов продаж на рейс. Эта задача формулируется следующим образом.

Для осуществления некоторого рейса назначен самолет емкостью  $B$ . На рейс продается  $n$  продуктов с ценами  $f_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Предполагается (прогнозируется), что спрос  $D_j$  на каждый продукт  $j$  представляет собой случайную величину, распределенную по нормальному закону со значениями среднего  $\mu_j$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Задача состоит в определении количества мест, которое следует отвести каждому продукту  $j$ , чтобы максимизировать ожидаемый общий доход от продаж. Обозначим через  $x_j$  количество билетов, выделяемых на рейсе продукту  $j$  (так называемый предел бронирования). Тогда целые неотрицательные значения  $x_j$  могут быть найдены из решения оптимизационной задачи (Soo, 2007):

$$\sum_{j=1}^n f_j \sum_{m=1}^{x_j} (1 - \Phi(\mu_j, \sigma_j, m)) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j < B, \quad (3)$$

где  $\Phi(\mu, \sigma, x)$  — функция распределения нормального закона с параметрами  $\mu$  и  $\sigma$  в точке  $x$ .

Задача (2)—(3) является задачей нелинейного программирования, однако может быть сведена к задаче целочисленного либо — в упрощенном случае — линейного программирования за счет введения индикаторных переменных.

Сформулированные задачи в качестве исходных данных требуют задания:

- физической емкости  $Cap$ , назначенного на рейс ВС;
- цен  $f_j$  и прогноза спроса  $D_j$  для каждого продукта (класса авиабилета),  $j = 1, \dots, n$ ;
- вероятности  $p$  появления пассажира на предполетной регистрации;
- различных вероятностных и ценовых параметров, используемых при вычислении компенсационной функции  $F(B, p, Cap)$ , например вероятности добровольного отказа пассажира от места в ВС, размера затрат на обслуживание пассажира во время ожидания следующего рейса и т. п.

Совместное решение задач (1) и (2)—(3) дает возможность учесть виртуальную емкость ВС, назначенного на рейс, при выработке оптимальной стратегии продаж авиабилетов на этот рейс и тем самым более полно удовлетворить имеющийся спрос (Мозговая, Фридман, Яблочкина, 2011).

### Симулятор

Деятельность авиакомпании от процесса управления доходами до регистрации включает:

- прогнозирование спроса;
- определение сверхлимитной вместимости;
- определение стратегии продаж;
- организацию процесса продаж;
- регистрацию пассажиров на рейсы.

Для того чтобы протестировать различные методы прогнозирования и оптимизации распределения ресурса на эффективность, необходимо применить их в одной и той же ситуации. Это невозможно в реальных условиях, так как спрос на каждый авиарейс уникален и не повторяется, и нельзя продать билеты на один и тот же рейс дважды, используя разные стратегии. В качестве решения проблемы появилась идея компьютерного симулятора, позволяющего моделировать деятельность авиакомпании по управлению доходами и продаже авиабилетов. Учет информации о потоке покупателей, полученном при моделировании, позволит получить полные данные о спросе, которых нет в распоряжении реальных авиакомпаний, — данные не обо всех возможных пассажирах доступны на практике, так как часть желающих отсекается из-за ограничения продажи по ценовым классам. А компьютерный симулятор, производящий как оптимизацию распределения ресурса любым заданным методом для одного и того же прогноза спроса, так и реализацию билетов заданному потоку покупателей, даст возможность получить экономические результаты, а значит, и проанализировать различные сценарии поведения в зависимости от выбранной стратегии.

Первый вариант симулятора был разработан в компании Boeing (Soo, 2007) для анализа воздействия полетного расписания на долю рынка авиакомпании. Модель *Decision Window Model* определяет предпочтения пассажира в соответствии с расписанием, характеристиками авиакомпании и набором других факторов, таких как тип ВС. В ней опущены некоторые важные переменные, влияющие на выбор покупателя, например установленные на каждом рейсе тарифы и связанные с ними ограничения.

Эта модель получила развитие в Массачусетском технологическом институте, где был создан *Passenger Origin Destination Simulator (PODS)*, симулирующий влияние методик управления доходами на положение авиакомпании в конкурентной авиасреде.

Архитектура *PODS* содержит четыре основные части:

- генерируется спрос на каждый перелет без разбивки по классам бронирования;
- определяется набор характеристик каждого пассажира для моделирования его предпочтений;
- на основе предпочтений каждого пассажира и состояния системы бронирования, т. е. доступности тех или иных продуктов для продажи, определяется набор перелетов, подходящих для пассажира;
- каждый пассажир делает выбор среди всех доступных альтернатив, удовлетворяющих его предпочтения.

Спрос на перелеты делится на два типа: бизнес-пассажиры и пассажиры, путешествующие в отпуске. Каждый тип имеет собственную динамику бронирования: обычно деловые люди чаще бронируются ближе к вылету рейса, а отдыхающие покупают билеты заранее.

Предпочтения каждого пассажира определяются следующим набором характеристик:

- временное окно перелета: случайным образом для пассажира генерируется самое раннее допустимое время вылета и самое позднее время прибытия в место назначения, параметрами генерации являются позиция окна в течение суток (типичная для рассматриваемого рынка) и заданная ширина окна (шире для отдыхающих, уже для бизнес-пассажиров);
- максимальная цена, которую готов заплатить за перелет пассажир;
- набор значений отрицательной полезности ограничений, связанных с правилами применения тарифов, и других возможных недостатков перелета: необходимость перепланировки маршрута, перелет с пересадками, плохой имидж авиакомпании и др.

Всего на каждом из рейсов моделируемой в *PODS* сети установлены четыре класса бронирования: от наиболее дорогого класса, не имеющего ограничений, до дешевого класса с самыми строгими правилами бронирования. Исходя из своих предпочтений, каждый пассажир делает выбор между предлагаемыми продуктами, всегда имея возможность при отсутствии вариантов отказаться от перелета.

Исследования, проводимые с использованием симулятора *PODS*, финансируются консорциумом из семи крупнейших авиакомпаний Европы и Северной Америки: Continental, Northwest, Delta, Lufthansa, KLM, SAS и Swiss (Carrier, 2003). Эти же авиакомпании-спонсоры предоставляют реальные исторические данные о пассажиропотоке на собственных рейсах. Таким образом, симулятор имеет возможность тестировать методики управления доходами на реалистичной среде, позволяя изучить воздействие на трафик и доходы на конкурентных рынках. Результаты исследований используются в целях развития систем управления доходами.

### **Моделирование работы авиакомпании**

В предложенную модель работы авиакомпании в части управления доходами входит генерация потока покупателей на основе заданных исходных данных, функции системы управления доходами: прогнозирование спроса на рейс, расчет виртуальной вместимости рейса и оптимизация распределения ресурса мест, а также симулятор продажи авиабилетов сгенерированному потоку покупателей с учетом рассчитанных системой управления доходами пределов продаж и процесса регистрации.

Реальная система управления доходами взаимодействует с другими информационными системами, которые использует авиакомпания: системой брони-

рования пассажиров, системой регистрации в аэропорту, системой учета доходов от авиаперевозок. На практике указанные информационные системы поставляют исходные данные для оптимизации продаж с некоторой периодичностью — обычно один раз в сутки — для того чтобы статистика обо всех вылетах, совершаемых авиакомпанией, накапливалась в базе данных системы управления доходами. Таким образом, при решении задач прогнозирования учитываются все имеющиеся свежие данные.

Для моделирования работы системы управления доходами используется собранная статистика продажи авиабилетов по уже вылетевшим рейсам, а данные о новых бронированиях предоставляет симулятор продажи авиабилетов.

Для симулятора данные предоставляет смоделированная система управления доходами:

- параметры распределения спроса на авиабилеты с разбивкой по временным интервалам по каждому ценовому классу на рейсе для генерации потока покупателей, определенные с помощью модуля прогнозирования в системе управления доходами;
- виртуальная емкость воздушного судна — емкость с учетом сверхлимитного бронирования, которая будет выставлена к продаже на рейсе;
- пределы продаж для реализации билетов полученному потоку покупателей с учетом ограничений на количество мест, определенные с помощью модуля оптимизации в системе управления доходами.

Предлагаемая процедура компьютерной симуляции процесса продаж и предполетной регистрации с учетом виртуального бронирования дает возможность получить числовые данные для проведения анализа эффективности внедрения оптимальной стратегии продажи билетов с учетом сверхлимитного бронирования по сравнению с продажами исходя лишь из физической вместимости воздушного судна.

Симуляция включает следующие шаги:

- генерирование потока запросов — создание упорядоченного по времени множества событий, каждое из которых представляет собой запрос на покупку либо возврат билета на один из продуктов рейса, т. е. формирование списка покупателей;
- процесс продажи авиабилетов — последовательная обработка потока запросов с учетом оптимальных ограничений по ценовым классам, т. е. определяется, удовлетворять или нет каждый из запросов покупателей в зависимости от ограничений по вместимости, в результате чего формируется множество удовлетворенных запросов, т. е. список пассажиров, купивших билеты на рейс;
- процедура предполетной регистрации — последовательная обработка потока удовлетворенных запросов с целью выявления «лишних» пассажиров на рейсе (сверх физической емкости назначенного на рейс ВС) и предоставления им предусмотренной компенсации за отказ в предоставлении уже оплаченной услуги.

Результатом работы симулятора являются список подтвержденных запросов, т. е. список покупателей из сгенерированного потока, запросы которых были удовлетворены, и список явившихся к регистрации пассажиров. Зная эти списки и изначальный поток, можно оценить эффективность примененной стратегии продаж.

### Заключение

Управление доходами воздушного перевозчика с учетом сверхлимитного бронирования означает использование математического метода, позволяющего произвести оптимальную загрузку воздушного судна пассажирами. В настоя-

щее время с учетом развития автоматизированных систем управления доходами применение данной стратегии позволяет оптимально распределять пассажиров согласно имеющимся тарифам, а также получать дополнительный доход, не неся дополнительных эксплуатационных затрат.

### Источники

АЭВТ Aviation, 2011. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.aex.ru/docs/2/2011/8/31/1403>

*Мозговая К. А., Фридман Г. М., Яблочкина М. В.* Численный анализ влияния точности прогноза пассажирского спроса на эффективность продаж авиабилетов с учетом сверхлимитного бронирования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 6.

*Яблочкина М. В.* Определение оптимального уровня сверхлимитного бронирования авиабилетов с использованием компенсационной функции // В мире научных открытий. 2011. № 1. С. 32—34.

*Barnhart C., Belobaba P.* Applications of Operations Research in the Air Transport Industry // Transportation Science. 2003. Vol. 37. N 4.

*Belobaba P.* Optimal vs. Heuristic Methods for Nested Seat Allocation // AGIFORS Reservation Control Study Group Meeting, 1992.

*Carrier E.* Modeling Airline Passenger Choice: Passenger Preference for Schedule in the Passenger Origin-Destination Simulator (PODS) // Thesis (S. M.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics, 2003.

*Lollis B. de, Hansen B.* Airlines Give Fliers Fewer Chances to do the Bump // USA Today, 2008.

*Soo Y.* Fare Adjustment Strategies for Airline Revenue Management and Reservation Systems // Thesis (S. M.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics, 2007.

*Talluri K., van Ryzin G.* The Theory and Practice of Revenue Management. Springer, 2005. P. 129—160.