



Математические и инструментальные методы экономики

Научная статья

УДК 519.854.2

DOI: <https://doi.org/10.17308/econ.2025.2/13065>

JEL: C44; C61

Имитационная модель процесса продаж авиабилетов для продуктов одного рейса

Г. М. Фридман¹, В. М. Баранов²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный экономический университет, ул. Садовая, 21, 191023, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Предмет. Одной из основных задач управления доходами пассажирской авиакомпании является эффективная продажа авиабилетов. Решению этой задачи подчинены многие операционные процессы, включая формирование летного расписания, назначение типов воздушных судов на рейсы, построение цепочек рейсов с назначенными на них бортами, сегментация пассажирского спроса и его прогнозирование, ценообразование, сверхлимитные продажи (overbooking) и т. п. С точки зрения математического моделирования продажа авиабилетов – это чрезвычайно сложный процесс, поскольку он зависит от множества случайных, иногда трудно прогнозируемых факторов, прежде всего от спроса на продукты, которые авиакомпания предлагает потенциальным пассажирам. Одним из подходов к описанию процесса продаж, позволяющим сделать корректные выводы и построить необходимые для бизнеса оценки, служит имитационное моделирование. Имитационная математическая модель, предложенная в статье, позволит, в частности, определить влияние точности прогноза пассажирского спроса на эффективность продаж в зависимости от выбранной стратегии продаж и иерархии вложенности ценовых классов.

Цель. Статья посвящена формированию имитационной модели для задачи оптимального контроля ресурсов на одном рейсе.

Метод. Модель разработана на базе методов и подходов формирования имитационных моделей и их программной реализации.

Результаты. Апробация модели проведена с помощью массовых числовых расчетов, выполненных на базе ее программной реализации для синтетических исходных данных для нескольких ценовых классов одного рейса. Полученные числовые результаты демонстрируют возможность использования имитационной модели для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: управление доходами авиакомпании, имитационное моделирование, эффективность продаж авиабилетов, прогноз спроса.

Для цитирования: Фридман, Г. М., & Баранов, В. М. (2025). Имитационная модель процесса продаж авиабилетов для продуктов одного рейса. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление*, (2), 17–25. DOI: <https://doi.org/10.17308/econ.2025.2/13065>



Mathematical and Quantitative Methods

Original article

UDC 519.854.2

DOI: <https://doi.org/10.17308/econ.2025.2/13065>

JEL: C44; C61

Simulation model of air ticket sales process for multiple fare classes on a single flight

G. M. Fridman¹✉, V. M. Baranov²

^{1,2} Saint Petersburg State University of Economics, 21 Sadovaya St., 191023, St. Petersburg, Russian Federation

Subject. One of the primary goals of passenger airline revenue management is the efficient sale of air tickets. Many operational processes are geared towards achieving this goal, including flight schedule development, aircraft type assignment to routes, construction of flight sequences with assigned aircraft (itinerary planning), passenger demand segmentation and forecasting, pricing, overbooking, and others. From the perspective of mathematical modeling, air ticket sales constitute an exceptionally complex process due to its dependence on numerous stochastic and often difficult-to-predict factors, primarily the demand for the fare products offered by the airline to potential passengers. Simulation modeling serves as one approach to describing the sales process, enabling valid conclusions to be drawn and generating essential business estimates. The simulation-based mathematical model proposed in this article will, specifically, allow to determine the impact of passenger demand forecast accuracy on sales effectiveness, contingent upon the chosen sales strategy and the fare class nesting hierarchy.

Purpose. To develop a simulation model for the problem of optimal resource control on a single flight.

Methodology. We developed the model by utilizing established methods and approaches for constructing simulation models and their software implementation.

Conclusions. We conducted the model validation through extensive numerical computations performed using its software implementation, based on synthetic input data for multiple fare classes on a single flight. The obtained numerical results demonstrate the model's applicability for solving the designated task.

Key words: airline revenue management, simulation modeling, air ticket sales effectiveness, demand forecast.

For citation: Fridman, G. M., & Baranov, V. M. (2025). Simulation model of air ticket sales process for multiple fare classes on a single flight. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Economics and Management*, (2), 17–25. DOI: <https://doi.org/10.17308/econ.2025.2/13065>

Введение

Управление доходами (revenue management) (Belobaba, 1987; Klein et al., 2020; Talluri & Ryzin, 2004) как научная и практическая область знаний, объединяющая задачи исследования операций, методы оптимизации, прогнозирование, теорию игр, стало с момента своего появления важной частью прикладной экономики. Управление доходами используется в различных отраслях: в пассажирских железнодорожных перевозках (Kraft et al., 2000; Talluri & Ryzin, 2004), в пассажирских авиаперевозках (Belobaba et al., 2016; Fridman & Lapina, 2016; Fukushi et al., 2022; Long, 2022; Long & Belobaba, 2024; Shihab & Wei, 2022; Talluri & Ryzin, 2004), в индустрии гостеприимства (в частности, в гостиничном бизнесе) (Ferguson & Smith, 2014; Ivanov et al., 2021; Yeoman, 2024), в продаже рекламных слотов на телевидении, в аренде автомобилей (Haensel et al., 2012) и т. п. В настоящее время эта сфера остается одной из движущих сил развития экономико-математических методов, а отрасль пассажирских авиаперевозок – одной из основных областей применения управления доходами (Klein et al., 2020; Talluri & Ryzin, 2004).

Целью работы является формирование и программная реализация имитационной модели процесса продаж авиабилетов на отдельный рейс (Лавренюк, 2011; Fukushi et al., 2022; Gosavi et al., 2007; Wang et al., 2025) и сравнительный анализ эффективности различных стратегий управления доходами, основанный на массовых вычислительных экспериментах. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, какая стратегия продаж наиболее эффективна в имеющихся обстоятельствах, в частности при известной (заданной) ошибке прогноза пассажирского спроса.

В качестве программного инструмента была выбрана компьютерная математическая среда Wolfram Mathematica¹.

Имитационная модель представлена четырьмя частями:

1. Генератор случайного потока покупателей для проведения вычислительного эксперимента.

2. Блок вычисления оценок пределов бронирования авиабилетов различных ценовых классов (математическое ядро модели).

3. Блок, моделирующий продажу билетов на базе выбранной стратегии.

4. Блок, осуществляющий подсчет максимального дохода для заданного потока покупателей и оценку эффективности.

На рис. 1 представлена блок-схема имитационной модели. Прямоугольники соответствуют четырем описанным выше блокам модели, параллелограммы – входные/выходные данные. Два крайних левых блока – входные данные в модель, крайний правый – результат работы модели. Для каждого блока существуют подблоки, функционирование которых будет описано далее.

Описание модели

Предполагается, что инструменты управления доходами используются начиная с некоторого заранее определенного дня n до вылета рейса, продажи билетов на который моделируются. Весь горизонт продаж заранее разбивается t временными срезами на частичные интервалы (data collection periods, DCP). Для каждого частичного временного интервала известен «реальный» спрос $D_{i,j}$ на

¹ Документация Wolfram Mathematica. Wolfram Language & System. URL: <https://reference.wolfram.com/language/>

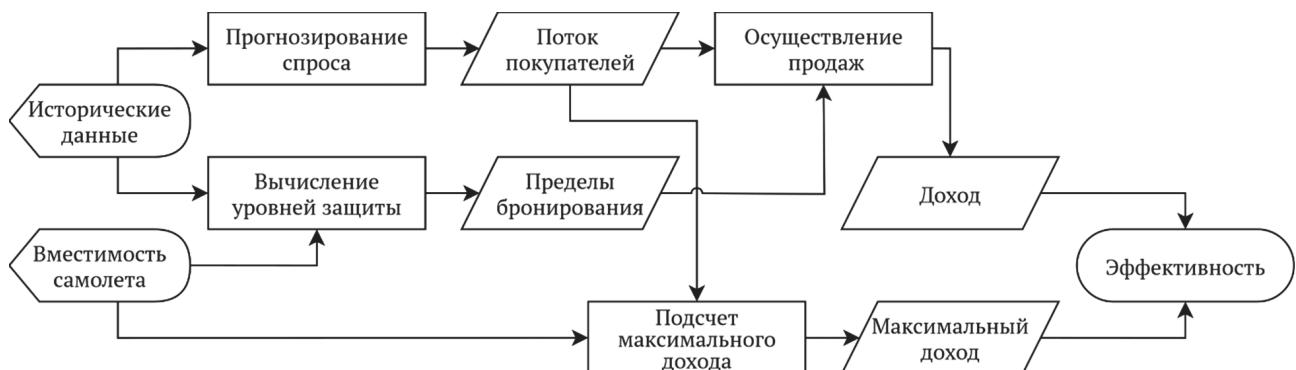


Рис. 1. Общая схема имитационной модели процесса продаж авиабилетов

все ценовые классы рассматриваемого рейса. Для каждого временного интервала $i = 1, \dots, m$ и каждого ценового класса $j = 1, \dots, k$ этот спрос является случайной величиной, распределенной по некоторому закону с функцией распределения $F_{i,j}$ и с соответствующим набором параметров, через которые возможно вычислить как математическое ожидание $\mu_{i,j}$, так и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{i,j}$ спроса. Также заданы коэффициенты ошибки прогноза для матожидания k_{μ} и среднеквадратического отклонения k_{σ} , которые для каждого временного интервала и ценового класса моделируют отклонение прогнозного значения от «реального» и позволяют найти значения оценок $\hat{\mu}_{i,j}$ и $\hat{\sigma}_{i,j}$ для прогноза. Кроме того, каждый ценовой класс j характеризуется ценой билета f_j .

Генерация потока покупателей в блоке 1 имитационной модели выполняется следующим образом. Вычисляется реализация случайной величины $D_{i,j}$, которая описывает число запросов $n_{i,j}$ на покупку билета в ценовом классе j в течение временного интервала i . После этого генерируется $n_{i,j}$ дискретных случайных величин τ_s , равномерно распределенных в соответствующих временных интервалах, длина которых пересчитана в «минутах до вылета рейса», и образуется пара, в которой первый элемент представляет собой сгенерированную случайную величину, а второй – идентификатор ценового класса. Каждая полученная пара интерпретируется как запрос на покупку билета в данном ценовом классе, поступивший в минуту τ_s до вылета. Множества пар для разных ценовых классов объединяются в одно и сортируются по убыванию первого элемента. Это множество и является потоком покупателей.

Функционал математического ядра имитационной модели (блок 2) включает процедуру вычисления пределов бронирования (booking limits), либо уровней защиты (protection levels) для множества ценовых классов с заданными ценами и прогнозами спроса при заданной вместимости воздушного судна, назначенного на рейс. Для этого реализованы эвристические алгоритмы EMSRa и EMSRb, основанные на классической модели Литтлвуда (Лавренюк, 2011; Belobaba, 1987; Littlewood, 1972). Так, в соответствии с алгоритмом EMSRb уровень защиты для класса $j = 1, \dots, k$ вычисляется по формуле

$$y_{i,j} = F_{i,j}^{-1} \left(1 - \frac{\overline{p_{i,j+1}}}{\overline{p_{i,j}}} \right),$$

где $F_{i,j}^{-1}$ – функция, обратная к функции распределения для случайной величины $D_{i,j}$; $\overline{p_{i,j}} = \sum_{o=1}^j p_{p,o} E[D_{i,o}] / \sum_{o=1}^j E[D_{i,o}]$ – средневзвешенная цена «суперкласса», включающего в себя все ценовые классы под номерами с 1 по j ; $E[D_{i,j}]$ – математическое ожидание распределения $D_{i,j}$. Отметим, что для нормального распределения, естественно, $E[D_{i,j}] = \hat{\mu}_{i,j}$.

Блок имитационной модели, моделирующий продажу билетов (блок 3), принимает на вход информацию от первых двух ее блоков – упорядоченный по числу минут до вылета поток запросов на покупку авиабилетов и пределы бронирования для ценовых классов рейса – и последовательно обрабатывает каждый запрос. Если текущий предел бронирования в ценовом классе, на который поступил запрос, больше нуля, то билет считается проданным (запрос удовлетворен), после чего на единицу уменьшается как остаточная вместимость воздушного судна, назначенного на рейс, так и текущие значения пределов бронирования, и совершается переход к следующему запросу. Если текущий предел бронирования в ценовом классе, на который поступил запрос, равен нулю, то запрос на покупку отклоняется и совершается переход к следующему запросу. Процесс останавливается в случае исчерпания либо запросов в потоке, либо свободных мест в воздушном судне.

Следует отметить, что при удовлетворении запроса на покупку уменьшение текущих значений пределов бронирования выполняется в одном из трех вариантов, в соответствии с принятой при проведении вычислительного эксперимента иерархией вложенности ценовых классов на рейсе:

– стандартное вложение (standard nesting): при удовлетворении запроса на покупку в ценовом классе j на единицу уменьшаются текущие значения пределов бронирования в этом и всех ценовых классах с более высокой ценой;

– невложенные ценовые классы (none nesting): при удовлетворении запроса на покупку в ценовом классе j на единицу уменьшается текущее значение предела бронирования только в этом классе;

– вложение с заимствованием (theft nesting): при удовлетворении запроса на покупку в ценовом классе j на единицу уменьшается текущее значение предела бронирования в этом классе и в классах с более высокой ценой.

новом классе j на единицу уменьшаются текущие значения всех пределов бронирования.

Четвертый блок имитационной модели выполняет постобработку числовых результатов, полученных в результате выполненного вычислительного эксперимента. Общая сумма цен билетов всех удовлетворенных запросов на покупку (т. е. доход от продаж) делится на максимальный доход, который возможно получить при продаже билетов данному потоку запросов. Это отношение и описывает эффективность выбранной стратегии продаж. Максимальный доход несложно вычислить, поскольку поток запросов на покупку заранее известен.

При проведении вычислительных экспериментов были использованы три следующие стратегии продаж авиабилетов:

- 1) с одним временным срезом ($1DCP$);
- 2) с несколькими временными срезами ($FCFS$);
- 3) без управления контролем продаж ($FCFS$ – first come first served, «первый пришел – первый купил»).

Стратегия $1DCP$ предполагает проведение одного расчета пределов бронирования для ценовых классов рейса в начальный точке горизонта продаж (первый временной срез) и использование полученных результатов при обработке всего потока запросов на покупку.

Стратегия $nDCP$ предполагает проведение расчетов пределов бронирования для ценовых классов рейса во все заранее установленные временные срезы горизонта продаж. При этом в каждый временной срез в качестве исходной информации для расчетной модели используется остаточный прогноз спроса на ценовой класс, который вычисляется сложением соответствующих случайных величин, описывающих прогноз спроса в частичные временные интервалы, начиная с текущего временного среза и до конца горизонта продаж. Остаточная вместимость вычисляется вычитанием из физической вместимости воздушного судна, назначенного на рейс, числа проданных билетов

(удовлетворенных запросов на покупку) за все временные интервалы, предшествующие расчету. Блок имитационной модели, моделирующий продажу билетов, проводит пошаговую обработку части потока запросов на покупку, которая соответствует временному интервалу между данным и следующим временными срезами. Эта стратегия дает возможность адаптировать процесс продаж к текущему спросу, тем самым повышая его эффективность.

Стратегия $FCFS$ не предполагает расчетов пределов бронирования. При работе блока 3 имитационной модели запрос на покупку удовлетворяется в том случае, если остаточная вместимость положительна, независимо от того, на какой именно ценовой класс поступил запрос.

Описанные блоки имитационной модели позволяют получить числовые данные для сравнительного анализа стратегий продаж авиационных билетов при выбранных иерархиях вложенности, коэффициентах ошибок прогнозов спроса и относительных ценах на авиабилеты. Основным показателем при этом является эффективность продаж для одного и того же генерированного случайного потока запросов на покупку авиабилетов, для вычисления которой использован блок 4.

Числовые результаты

Для проверки работоспособности сформированной имитационной модели и ее программной реализации были проведены массовые вычислительные эксперименты на модельных данных.

Модельные данные определяют горизонт продаж в 90 дней, разделенный четырьмя временными срезами, установленными в 90, 21, 7 и 1 день до вылета рейса. Вместимость воздушного судна, назначенного на рейс, принята равной 155 местам. К продаже на рейс доступно четыре ценовых класса с идентификаторами Y , M , K , Q . Информация по ценам и параметрам прогноза спроса по временным интервалам показана в таблице. Предполагается, что все

Т а б л и ц а

Исходные данные для четырех ценовых классов

Ценовой класс	Цена билета (руб.)	Параметры прогноза спроса $\{\mu, \sigma\}$				
		90–21	21–7	7–1	1–0	Всего
Y	25 000	{1; 0,2}	{2; 0,2}	{4; 0,6}	{7; 0,75}	{14; 1}
M	15 000	{5; 1,5}	{6; 1}	{8; 0,65}	{8; 0,55}	{27; 2}
K	7000	{20; 2}	{13; 2}	{8; 1}	{3; 0,15}	{44; 3}
Q	3500	{55; 3}	{35; 2}	{10; 1,75}	{1; 0,1}	{101; 4}

случайные величины (спрос на ценовые классы по временным интервалам) распределены по нормальному закону.

Некоторые результаты числовых расчетов приведены на рис. 2–4. Коэффициент k_1 ошибки прогноза математического ожидания менялся от 0,5 до 1,5 с шагом 0,025, а коэффициент k_2 ошибки прогноза среднеквадратического отклонения – в интервале от 0,5 до 3 с шагом 0,1. Во всех случаях значения $\{k_1, k_2\}$ приняты одинаковыми для всех ценовых классов и всех временных интервалов горизонта продаж. Для каждой пары значений $\{k_1, k_2\}$ число имитационных экспериментов равно 100. Это количество повторов позволяет уменьшить влияние флюктуаций при генерировании «реального» потока покупателей. Множество результатов по эффективности для каждой пары значений $\{k_1, k_2\}$ усредняется.

На рис. 2 показано влияние коэффициента k_1 ошибки прогноза математического ожидания на эффективность продаж при различных стратегиях. Коэффициент ошибки прогноза среднеквадратического отклонения k_2 взят равным единице, принята стандартная иерархия вложения ценовых классов. Следует отметить преимущество, которое за счет адаптации к меняющемуся «реальному» спросу обеспечивает стратегия с несколькими временными срезами. Стратегия «первый пришел, первый купил», которая фактически не предусматривает контроль продаж, не уступает двум остальным для $0,5 < k_1 < 0,8$ за счет того, что в этих обстоя-

тельствах прогноз спроса существенно завышен и ограничения на продажи являются ненужными. С увеличением значения k_1 такая стратегия продаж становится крайне невыгодной.

На рис. 3 изображена зависимость эффективности продаж от коэффициента k_1 ошибки прогноза математического ожидания для различных значений коэффициента k_2 ошибки прогноза среднеквадратического отклонения. Для расчетов выбрана стратегия продаж с несколькими временными срезами ($nDCP$), использована стандартная иерархия вложения. Налицо существенное снижение эффективности при значениях $k_1 > 1$, т. е. в случае, когда прогноз дает заниженную оценку спроса. Для значений k_1 , близких к 0,6, наблюдается предельно высокая эффективность (близкая к единице). Это связано с тем, что при таких ошибках прогноз существенно переоценивает реальный спрос, поэтому ограничение продаж через жестко установленные пределы бронирования оказывается нерациональным и невыгодным.

На рис. 4 видим падение эффективности продаж при росте коэффициента k_2 ошибки прогноза среднеквадратического отклонения для двух стратегий продаж, $nDCP$ и $1DCP$. Сплошная линия на графике построена как полиномиальная кубическая аппроксимация расчетных данных, которые на рис. 4 показаны точками.

Полученные числовые результаты дают возможность использовать сформированную имитационную модель и для полномасштабных реальных данных.

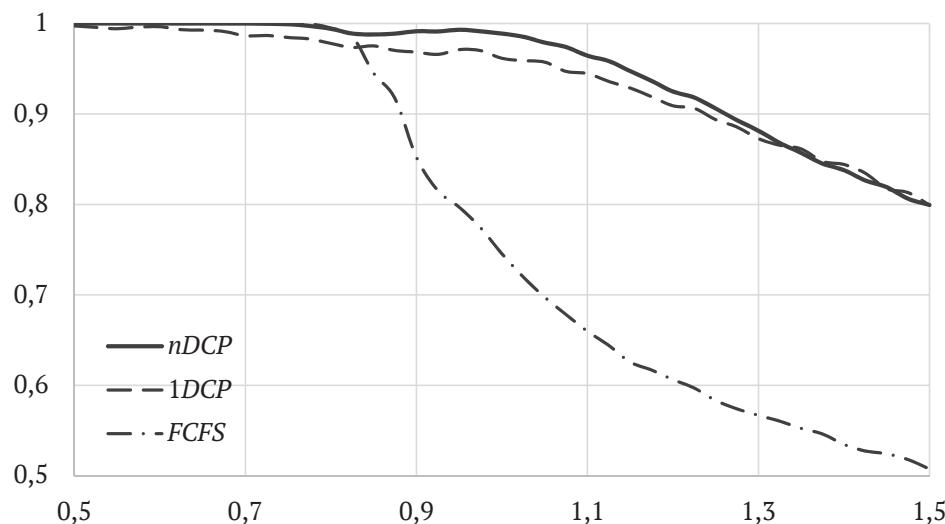


Рис. 2. Зависимость эффективности продаж от коэффициента k_1 ошибки прогноза математического ожидания. Различные стратегии продаж, стандартная иерархия вложения. Коэффициент ошибки прогноза среднеквадратического отклонения $k_2 = 1$

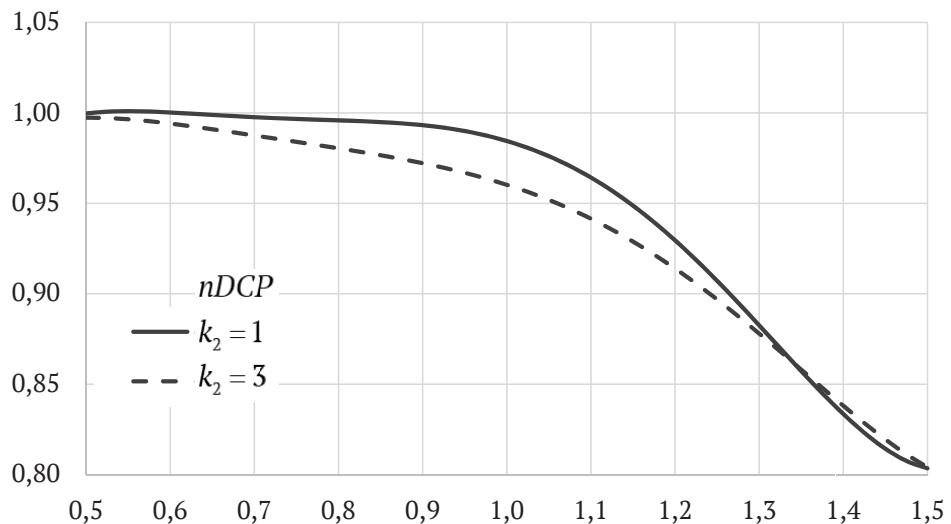


Рис. 3. Зависимость эффективности продаж от коэффициента k_1 ошибки прогноза математического ожидания для различных значений коэффициента k_2 ошибки прогноза среднеквадратического отклонения. Стратегия продаж с несколькими временными срезами ($nDCP$), стандартная иерархия вложения

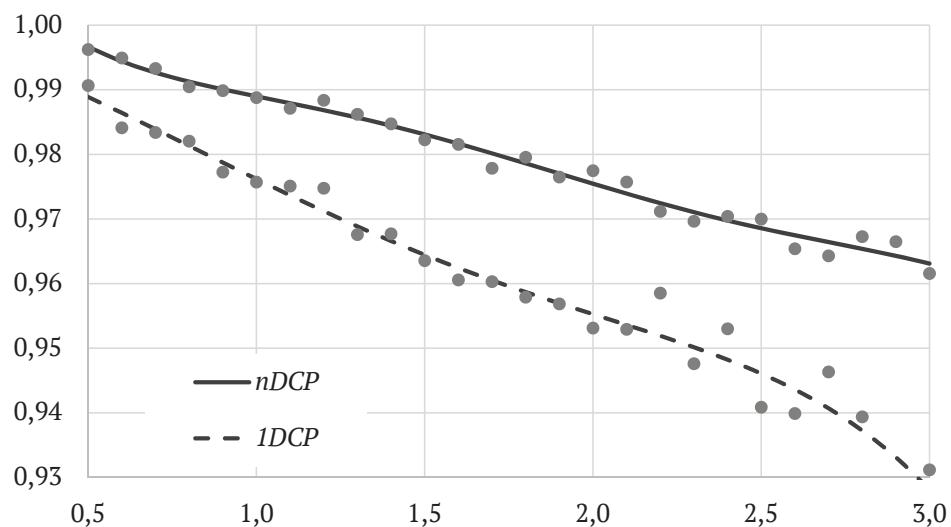


Рис. 4. Зависимость эффективности продаж от коэффициента k_2 ошибки прогноза среднеквадратического отклонения при $k_1 = 1$. Стратегия продаж с несколькими ($nDCP$) и одним ($1DCP$) временными срезами, стандартная иерархия вложения

Заключение

В статье представлена процедура формирования имитационной модели для проведения вычислительных экспериментов, описывающих процесс продаж авиабилетов пассажирской авиакомпании для продуктов одного рейса и дающих возможность оценить эффективность выбранной стратегии продаж при заданных исходных параметрах. Разработана общая схема имитационной модели процесса продаж авиабилетов, которая включает в себя генератор случайного потока покупателей,

блок вычисления оценок пределов бронирования авиабилетов различных ценовых классов (математическое ядро модели), блок, моделирующий продажу билетов на базе выбранной стратегии, и блок, осуществляющий подсчет максимального дохода и оценку эффективности для заданного потока покупателей.

Для модельных данных выполнены массовые числовые расчеты, подтверждающие корректность работы имитационной модели. Исходными параметрами служили стратегия продаж, цены (Selçuk & Avşar, 2019) и иерархия

вложенности ценовых классов (продуктов), вместимость воздушного судна, назначенного на рейс, стохастические прогнозы пассажирского спроса на продукты, а также величины, описывающие ошибки прогноза. Получены численные зависимости эффективности продаж:

– от выбранной стратегии;

– коэффициента ошибки прогноза математического ожидания для различных значений коэффициента ошибки прогноза среднеквадратического отклонения;

– коэффициента ошибки прогноза среднеквадратического отклонения для различных значений коэффициента ошибки прогноза математического ожидания пассажирского спроса на продукты.

Эти зависимости дали возможность выявить набор исходных характеристик, обеспечивающий оптимальное значение эффективности продаж, представляющей собой отношение дохода, полученного от продаж данному потоку покупателей при выбранной стратегии, к максимально возможному доходу.

Основным направлением развития модели является расширение ее функционала, который сможет обеспечить расчетные сценарии, дающие следующие возможности:

– моделирование продаж авиабилетов для множества рейсов летного расписания, которое предусматривает существование «многорейсовых» продуктов, включающих пересадки в аэропортах стыковки (Лавренюк, 2011; Talluri & Ryzin, 2004);

– учет влияния сверхлимитных продаж, включая как отказ от приобретенных авиабилетов (cancelation), так и неявку пассажира к регистрации (Gosavi et al., 2007);

– моделирование продаж авиабилетов для пределов бронирования на продукты, вычисленных в предположении, что возможны – с некоторой заранее заданной вероятностью – «покупки вверх» (buy-up), т. е. приобретение продуктов по более высокой цене в случае, когда закончились билеты, необходимые покупателю (Long, 2022; Long & Belobaba, 2024).

Авторский вклад

Авторы внесли равный вклад в работу, представленную в статье.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Библиографический список

1. Лавренюк, О. В. (2011). Описание компьютерного симулятора для системы управления доходами авиакомпании. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена*, (141), 75–80. [Lavreniuk, O. V. (2011). Description of a computer simulator for an airline revenue management system. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*, (141), 75–80. (In Russian).]

2. Belobaba, P. (1987). *Air travel demand and airline seat inventory management*. Massachusetts Institute of Technology. Department of Aeronautics and Astronautics.

3. Belobaba, P., Amadeo, R., Odoni, A., & Barnhart, C. (2016). *Airline pricing theory and practice*. The global airline industry. Hoboken: Wiley.

4. Ferguson, M., & Smith, S. (2014). The changing landscape of hotel revenue management and the role of the hotel revenue manager. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 13(3), 224–232.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of Interest

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

5. Fridman, G., & Lapina, M. (2016). Maximum likelihood approach for demand unconstraining problem with censoring information incompleteness. *Journal of Revenue and Pricing Management*, (15), 37–51. DOI: 10.1057/rpm.2015.23

6. Fukushi, M., Delgado, F., Raveau, S., & Santos, B. (2022). A choice-based air transport simulator applied to airline competition and revenue management. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, (155), 297–315. DOI: 10.1016/j.tra.2021.11.010

7. Gosavi, A., Ozkaya, E., & Kahraman, A. F. (2007). Simulation optimization for revenue management of airlines with cancellations and overbooking. *OR Spectrum*, (29), 21–38. DOI: 10.1007/s00291-005-0018-z

8. Haensel, A., Mederer, M., & Schmidt, H. (2012). Revenue management in the car rental industry: A stochastic programming approach. *Journal of Revenue and Pricing Management*, (11), 99–108. DOI: 10.1057/rpm.2010.52

9. Ivanov, S., Del Chiappa, G., & Heyes, A. (2021). The research-practice gap in hotel revenue management: Insights from Italy. *International Journal of Hospitality Management*, (95), 102924. DOI: 10.1016/j.ijhm.2021.102924
10. Klein, R., Koch, S., Steinhardt, C., & Strauss, A. (2020). A review of revenue management: Recent generalizations and advances in industry applications. *European Journal of Operational Research*, 284(2), 397–412. DOI: 10.1016/j.ejor.2019.06.034
11. Kraft, E., Srikanth, B. N., & Phillips, R. L. (2000). Revenue management in railroad applications. *Journal of Transportation Quarterly*, 54(1), 157–176.
12. Littlewood, K. (1972). Forecasting and Control of Passenger Bookings. In *Proceedings of the 12th AGIFORS Symposium*, 95–117.
13. Long, Y. (2022). *Airline Revenue Management with Segmented Continuous Pricing: Methods and Competitive Effects*. Massachusetts Institute of Technology.
14. Long, Y., & Belobaba, P. (2024). Airline revenue management with segmented continuous pricing: methods and competitive effects. *Journal of Revenue Pricing Management*, (23), 14–27. DOI: 10.1057/s41272-023-00462-6
15. Selçuk, A. M., & Avşar, Z. M. (2019). Dynamic pricing in airline revenue management. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 478(2), 1191–1217. DOI: 10.1016/j.jmaa.2019.06.012
16. Shihab, S. A. M., & Wei, P. (2022). A deep reinforcement learning approach to seat inventory control for airline revenue management. *Journal of Revenue Pricing Management*, (21), 183–199. DOI: 10.1057/s41272-021-00281-7
17. Talluri, K., & Ryzin, G. (2004). *The theory and practice of Revenue Management*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
18. Wang, S., Zhuang, W., Tian, F., Zhang, L., Peng, M., & Yung, K. L. (2025). Airline revenue management with demand forecast updating: a case study of single-leg data. *Enterprise Information Systems*, 19(5–6). DOI: 10.1080/17517575.2025.2492760
19. Yeoman, I. (2024). Hospitality revenue management research. *Journal of Revenue Pricing Management*, (23), 195–196. DOI: 10.1057/s41272-024-00491-9
-

Баранов Виктор Михайлович, студент, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: victorbaranovcom@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-6832-9398

Фридман Григорий Морицович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: grifri@finec.ru
ORCID ID: 0000-0001-9876-4276

Получена 26.03.2025
Получена в доработанном виде 29.04.2025
Одобрена 05.05.2025

Viktor M. Baranov, Graduate Student, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: victorbaranovcom@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-6832-9398

Gregory M. Friedman, Dr. Sci. (Eng.), Full Prof., Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: grifri@finec.ru
ORCID ID: 0000-0001-9876-4276

Received 26.03.2025
Received in revised form 29.04.2025
Accepted 05.05.2025