

# УПРАВЛЕНИЕ И БИЗНЕС

УДК 656.01

*А.С. Винюков-Проценко, А. Энтони,  
М. Маучек, Т. Хорват*

## **ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ К СТРУКТУРЕ СМЕШАННЫХ ТАРИФОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОХОДАМИ АВИАКОМПАНИИ**

*A.S. Vinyukov-Proschenko, A. Antony,  
M. Mauchek, T. Khorvat*

## **EVOLUTION OF APPROACHES TO STRUCTURE OF MIXED TARIFFS IN THE CONTROL SYSTEM OF THE INCOME OF AIRLINE**

*Пассажирские авиаперевозки сегодня играют ключевую роль в мировой экономике. Постоянное увеличение пассажиропотока диктует необходимость оптимизации данного вида перевозок с целью снижения издержек и увеличения доходов. Важную роль в настоящее время играет проблема тарификации авиаперевозок в различных странах мира. В условиях конкурентной борьбы авиакомпании вынуждены предоставлять потребителям более доступные тарифы, что снижает доходы от основной деятельности. Традиционные системы управления доходами авиакомпаний используют прогнозирование и оптимизационные модели, которые предполагают отдельные требования для каждого класса оплаты за проезд на участке полета и / или для каждого пути пассажиров и класса тарифа в сети авиакомпании. Это предположение о независимости спроса позволяет характеризовать несколько вариантов тарифов с различными ограничениями на каждом, такими как минимальные требования к нахождению, предварительное бронирование и правила продажи билетов или возврата их с учетом вычетов либо же в качестве невозвратных. Пассажиры могли бы выбрать данный тип тарифа, предполагая, что они могут покупать только этот тип, не имея возможности выбрать более низкую плату за проезд, другой маршрут или другую авиакомпанию. В данной работе проводится анализ новой теории оптимизации управления доходами, которая может быть применена к структуре тарифов различных авиакомпаний. Её применение позволит авиакомпаниям продолжать использование традиционных систем управления*

доходами и механизмов обеспечения безопасности контроля мест, тем самым повышая эффективность функционирования.

**Ключевые слова:** логистика, авиaperевозки, управление.

*Passenger air transportation plays a key role in world economy today. Constant increase in passenger traffic dictates the need of optimization of this type of transport for the purpose of decrease in costs and increase in the income. An important role is played now by the problem of tariffing of air transportation worldwide. In the conditions of competitive fight airlines are compelled to provide to consumers more available tariffs that reduce the income from primary activity. Traditional control systems of airlines' income use forecasting and optimizing models which assume separate requirements for each class of payment for journey on site flight, and/or for every way of passengers and a class of a tariff to networks of airlines. This assumption of independence of demand allows characterizing some options of tariffs with various restrictions on everyone, such as the minimum requirements to stay, preliminary booking and rules of sale of tickets or their return taking into account deductions or as the irretrievable. Passengers could choose this type of tariff, assuming that they can buy only this type, without having opportunity to choose lower fare, other route or other airline. In this work the analysis of the new theory of optimization of management of the income which can be applied to the structure of tariffs of various airlines is carried out. Its application will allow airlines to continue use of traditional control systems of the income and mechanisms of safety of control of places, thereby increasing efficiency of functioning.*

**Keywords:** logistics, air transportation, management.



Предположение о независимости спроса никогда не было абсолютно точным, однако практически все способы прогнозирования управления и оптимизации модели доходов авиакомпании были разработаны на основе этой модели. С изменением практики ценообразования авиакомпаний в последние годы то, что было под вопросом, но все же подходило для модели управления доходами, стало практически полностью неприменимым. Возникновение и быстрый рост числа низкобюджетных авиаперевозчиков с менее ограниченной структурой образования тарифов привели к появлению разнообразных «упрощенных» способов платы за проезд, структур с меньшими ограничениями, а в некоторых случаях без каких-либо ограничений на всех. Без изменений в традиционных методах прогнозирования управления доходами и оптимизации моделей, а также связанных с ними механизмов управления численно-

стью пассажиро-мест, менее жестко ограниченные тарифные структуры приводят к повышению коэффициентов загрузки, что позволяет использовать более низкие тарифы, вызывая уменьшение доходности и снижение совокупной выручки для авиакомпании.

Проанализируем теорию оптимизации доходов за счет контроля мест в совершенно произвольной структуре тарифа авиакомпании. Применимость такого подхода к любой структуре тарифа, связанного со спросом пассажиров на такой выбор, позволяет предположить, что теория оптимизации носит сложный характер. Необходимо извлечь предельный доход из тарифов и спроса на основании выбора эквивалентной модели независимого спроса. Это преобразование предполагает дальнейшее использование существующих алгоритмов оптимизации и механизмов управления в традиционных системах управления доходами. Преобразование предельного дохода может быть применено ко всем существующим системам управления однонаправленных маршрутов и контроля O-D доходов, включая контроль EMSRb однонаправленных маршрутов, со скорректированным (DAVN) и динамическим программированием (DP). Прогнозы спроса, которые отражают выбор продукта платы за проезд, требуют оценки эластичности спроса и параметров распространения с использованием отдельных моделей оценки, как, к примеру, пишут Hopperstad (2007) и Guo (2008). Таким образом, основной вклад данной статьи заключается в анализе новой теории для оптимизации систем управления доходами, которые могут быть применены к структуре тарифов любой авиакомпании. Применение этой новой теории оптимизации может позволить авиакомпаниям продолжать использовать традиционные системы управления доходами и механизмы обеспечения безопасности контроля мест, первоначально разработанные в условиях независимой тарификации. В начале работы мы решили прибегнуть к ряду упрощений: статическая оптимизация, детерминированный спрос, одна авиалиния и один рынок функционирования. Эта теория никоим образом не ограничивается каким-либо из этих упрощений, которые были введены, чтобы дать более четкое представление о её сущности.

Большинство методов управления доходами были разработаны исходя из критической предпосылки, что спрос на данный тарифный класс не зависит от спроса на другие тарифные классы. Эффективное использование этих систем управления доходами от авиакомпаний по всему миру, по оценкам, позволяет генерировать порядка 4–6 % дополнительных доходов [Smith и др., 1992]. Barnhart и др. (2003) описывают эволюцию систем управления доходами с начала 1980-х годов. McGill и van Ryzin (1999) обеспечивают всесторонний обзор литературы по управлению доходами, сосредоточив внимание на развитии прогнозирования и оптимизации моделей. Оптимизацию пассажиро-мест авиакомпании (для увеличения дохода с учетом различных тарифов за про-

езд на одном участке полета) изначально описывал ещё Littlewood (1972), который решил проблему смешивания тарифных классов для двух конкретных тарифных классов. Белобаба (1987, 1989) расширил решение изложенной проблемы распределения мест для нескольких классов платы за проезд с развитием эвристики ожидаемого предельного дохода с места (EMSR). Curry (1990), Wollmer (1992) и Brumelle и McGill (1993) описали оптимальные решения для множественных тарифных классов. Позднее, Белобаба (1992) модифицировал эвристику EMSR, чтобы лучше приблизиться к оптимальному решению множественных тарифных классов. Модифицированная версия стала известна как 'EMSRb', и также подробно описана в [7].

Динамические модели программирования также были применены к задаче управления резервами мест в одном направлении такими авторами, как Lee и Hiersch (1993) или Lautenbacher и Stidham (1999). Системы управления доходами сети используют математику оптимизации сети, чтобы определить наличие мест в тарифном классе на основе пассажирских, а не индивидуальных маршрутов, что делает их особенно ценными для авиакомпаний, которые работают с сетями стыковочных рейсов. Smith и Penn (1988) реализовали один из первых методов управления O-D: виртуальное группирование, впервые примененное в American Airlines. Многие системы управления доходами сети эволюционировали от этой первоначальной концепции к более развитой системе коррекций изменений виртуального группирования (DAVN). DAVN регулирует значение O-D платы за проезд на каждом участке для направленного дохода от перевозки пассажира [Saranathan и др., 1999]. Williamson (1992) и Vinod (1995) предлагают более подробное описание управления O-D и конкретно подхода DAVN. Альтернативным механизмом для управления O-D, который использует логику подобной сетевой оптимизации, является «Контроль цены спроса». Разработанный в трудах Simpson (1989) и расширенный в работе Williamson (1992), этот метод требует, чтобы контроль цены спроса в магазинах авиакомпаний (оценка предельной величины дохода сети от каждого дополнительных места) применялся для каждого маршрута в сети. Для каждого запроса маршрута наличие свободных мест определяется путем сравнения соответствующего O-D тарифа с суммарной ценой маршрута, который проходит между данными аэропортами. Алгоритм расчета цены предложения в сети маршрутов авиакомпании включает в себя математические модели программирования от Talluri и van Ryzin (1998), эвристических подходов Белобабы (1998) и вероятностный алгоритм сходимости по Bratu (1998).

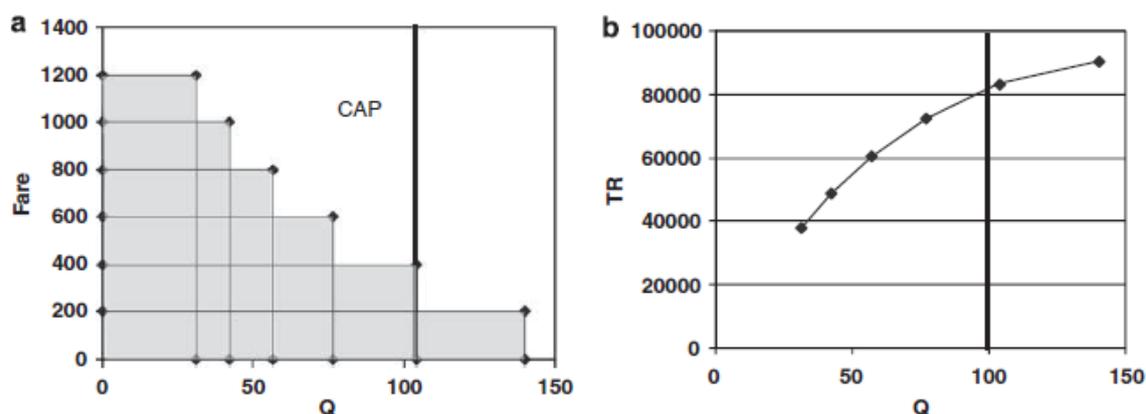
Динамическое программирование может также использоваться для определения оптимальных цен сетевых ставок, по крайней мере теоретически, как она была сформулирована Gallego и van Ryzin (1997). Внедрение систем управления доходами авиакомпаний от сетевых авиаперевозок, по оценкам, способно генерировать дополнительные 1–2 % от об-

щего объема доходов, более 4–6 % реализуется от традиционных систем управления доходами по выбранному направлению [Белобаба, 1998]. Тем не менее практически все модели оптимизации сетевых доходов были основаны на предположении независимых требований, участков первого рейса и тарифного класса, и только затем – пассажирского маршрута и класса тарифа. Ни одна из традиционных моделей оптимизации, описанных в литературе, явно не рассматривает осложнения, вызванные переходом на менее ограниченные тарифные структуры с 2000 года. Как отмечает Tretheway (2004), введение этих упрощенных тарифных структур подорвало возможности ценовой дискриминации со стороны авиакомпаний, предоставляющих полный спектр услуг, и является наиболее важным событием в сфере ценообразования в отрасли за последние 25 лет. Без полноценных ограничений сегментации спроса упрощенные структуры тарифов позволят пассажирам, которые ранее использовали более высокие (дорогие) тарифы, отныне покупать билеты по более доступным тарифам. В истории баз данных бронирований и доходов сохранилось меньше бронирований в наиболее дорогостоящих классах платы за проезд, что, в свою очередь, ведет к снижению прогнозов будущего спроса на более дорогие тарифные классы. Оптимизатор распределения мест сохраняет меньше мест для более высоких тарифных классов и выделяет больше мест, доступных для бронирования по более низким тарифным классам, что ещё более стимулирует уменьшение тарифов дорогого класса. Соорег и др. (2006) разработали математическую модель, которая описывает данный эффект нисходящей спирали. Несколько работ, описывающих способы преодоления эффекта нисходящей спирали, были сосредоточены на модификации моделей прогнозирования, используемых в традиционных системах RM.

Boyd и Kalleesen (2004) предложили сегментацию между ценоориентированным (или «ценовым») спросом, по которому всегда будут приобретать билеты авиакомпании по наименее дорогому тарифу, и продуктоориентированным спросом, по которому потребители готовы выбрать более дорогие тарифы за перелет в связи с определенными дополнительными услугами или меньшими ограничениями. Они предположили, что идентификация «цены» или «продукта» в базе данных управления доходами может позволить авиакомпании генерировать отдельные прогнозы каждого типа спроса и объединить эти прогнозы в единый «гибридный» прогноз. В то время как традиционные модели прогнозирования являются более применимыми для продуктоориентированного спроса, подход к прогнозированию, включающий оценку готовности платить (т.н. потенциал продажи) необходим для прогнозирования каждого тарифного класса при продуктоориентированном спросе. Белобаба и Hopperstad (2004) описывают модель, называемую «Q-прогнозирование». Данная модель может обеспечить оценки цен продуктоориентированного спроса, необходимые для гибридных прогнозов. Talluri и van Ryzin (2004) сформулировали модель DP для случая, когда поведение потребителя описывается общей

дискретной моделью выбора, и показали, что только стратегии эффективного разграничения имеют существенное значение в оптимизации. В этой статье мы объясним, как любой алгоритм оптимизации для сети авиакомпании может быть расширен до общей структуры тарифа, разработанной и впервые представленной в работе Fiig и соавт. (2005), а также Isler и др. (2005). Подход, называемый также «корректировка тарифа», использует трансформацию предельного дохода, который регулирует плату за проезд и вклад в традиционные оптимизаторы управления доходами, эффективно превращая выбор общей тарифной модели в модель независимого спроса полностью дифференцированной тарифной структуры.

Рассмотрим простейший возможный пример, чтобы объяснить теорию оптимизации: на примере однонаправленного маршрута с максимальной заполняемостью. Начнем с решения задачи оптимизации, когда плата за проезд полностью дифференцирована. Авиакомпания опубликовала набор тарифов  $f_i$  в порядке убывания платы за проезд:  $f_i > f_{i+1}$ ,  $i=1, \dots, n-1$ .



*Рис. 1. Зависимость предельного дохода:  
а – растущие доходы в зависимости от спроса  
(предельный доход показан затененной областью ниже кривой);  
б – зависимость предельного спроса и общего спроса*

Данные расчета по рис. 1, а и 1, б

Тариф- ный продукт	Тариф, \$	Спрос		Полностью дифферен- цированный, \$		Полностью недиффе- ренцированный, \$	
	$f_i$	$d_i$	$Q_i$	$TR_i$	$MR_i$	$TR_i$	$MR_i$
1	1200	31.2	31.2	37 486	1200	37 486	1200
2	1000	10.9	42.1	48 415	1000	42 167	428
3	800	14.8	56.9	60 217	800	45 536	228
4	600	19.9	76.8	72 165	600	46 100	28
5	400	26.9	103.7	82 918	400	41 486	-172
6	200	36.3	140.0	90 175	200	28 000	-372

Мы утверждаем, что спрос является детерминированным, при этом спрос на продукт различен для каждого тарифа. В полностью диффере-

низированной структуре тарифов традиционные модели управления доходами позволяют предположить, что спрос на продукт по каждому тарифу не зависит от наличия или отсутствия других продуктов. Как показано на рисунке 1, а, максимизация дохода решается распределением мест для всех требований в порядке убывания платы за проезд, пока предел вместимости не будет достигнут. Места на борту, доступные для проезда по самому низкому тарифу, должны быть ограничены в общем объеме. Пошаговая убывающая кривая показывает приращение выручки в зависимости от количества (Q). Ограничение объема мест показано как вертикальная линия с величиной шага, равной 100. Обратите внимание, что данные на рисунках 1 и 2 объединяются в таблице 1. Рисунок 1, б иллюстрирует величины  $TR_k$  и  $Q_k$ , обозначив общий доход и общее количество проданных товаров с учетом k – самый низкий тариф за проезд, как

$$Q_k = \sum_{j=1}^k d_j \text{ и } TR_k = \sum_{j=1}^k f_j \times d_j.$$

Общий доход монотонно возрастает с увеличением количества, рассчитанного как площадь под кривой на рисунке 1, а. Теперь предположим, что ограничения на плату за проезд снимаются, то есть это делает их полностью недифференцированными. Единственным различием между тарифными продуктами является их уровень цен, и поэтому клиенты всегда будут использовать самый дешевый доступный тариф. Даже клиенты, готовые использовать более высокие тарифы, теперь будут следовать самой низкой тарифной ставке.

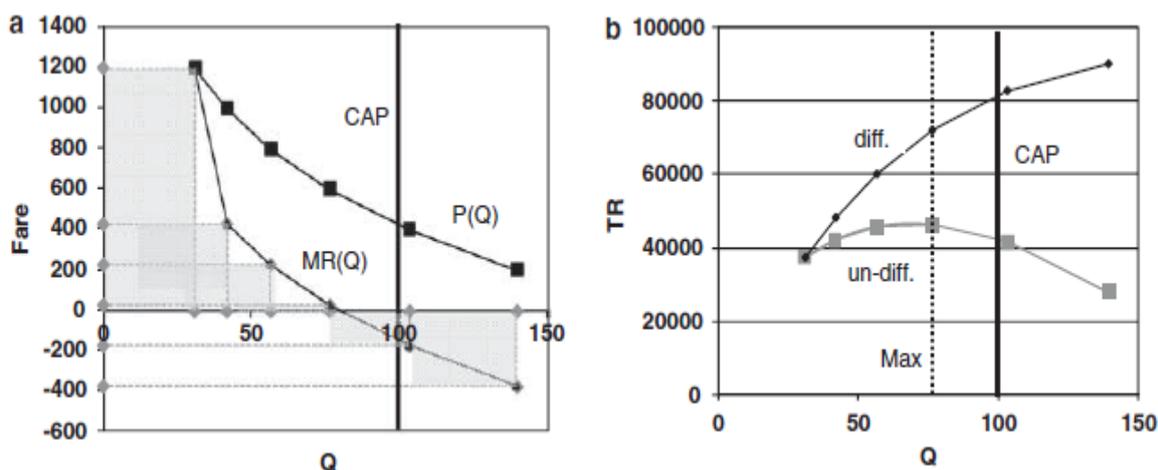


Рис. 2. Кривая спроса: а –  $P(Q)$  и предельного дохода  $MR(Q)$  для недифференцированных случаев; б –  $TR(Q)$  и для дифференцированного, и для недифференцированного случая

Общий доход и общее количество проданных товаров, с учетом k как самого низкого доступного тарифа, могут теперь быть выражены как

$$Q_k = \sum_{j=1}^k d_j \text{ и } TR_k = f_k \times Q_k.$$

Общий доход показан как для дифференцированного, так и для недифференцированного случая на рисунке 2. Для пассажиров, предпочитающих самый низкий транспортный тариф, общий доход в недифференцированном случае падает ниже, чем при дифференцированной структуре тарифа. Добавочный спрос от открытия более высокого тарифа  $k$  – это  $dk$ . Однако дополнительные доходы – это не  $dk f_k$ , а уменьшенная сумма, которую мы можем вычислить путем учета доходов, утраченных в результате снижения цен. Потери от снижения цен задаются  $Q_{k-1}(f_{k-1}-f_k)$ , так как агрегированный спрос, при котором используется класс  $k-1$ , теперь будет записываться как класс  $k$ . Таким образом, вклад дополнительных доходов за счет открытия класса  $k$  можно записать в виде  $dk \times f_k - Q_{k-1}(f_{k-1}-f_k)$ . Другой способ заключается в том, что вместо того, чтобы получать плату за проезд  $f_k$ , открыв класс  $k$ , мы получим скорректированный тариф  $f'_k = [dk \times f_k - Q_{k-1}(f_{k-1}-f_k)]/d_k$ . Скорректированный тариф также известен как предельный доход  $MR_k$  и может быть вычислен как приращение общего дохода на единицу мощности

$$MR_k = \frac{TR_k - TR_{k-1}}{Q_k - Q_{k-1}} = f'_k.$$

Предельный доход иллюстрируется нижней кривой  $MR(Q)$  на рисунке 2, а. Обратите внимание, что площадь под кривой соответствует общему доходу. Чем больше мест становятся доступными по более низкому тарифу за проезд, тем предельный доход становится более отрицательным, а это означает общее снижение доходов. Поэтому классы тарифов ниже \$ 600 в этом примере всегда должны оставаться закрытыми.

Исходя из вышесказанного, мы можем предложить решение задачи оптимизации тарифов следующим образом: снижать количество мест по тарифам, уменьшающим предельный доход, и открытым тарифам до тех пор, пока они не будут израсходованы или предельный доход не станет отрицательным. Этот общий принцип действует как для дифференцированных, так и для недифференцированных тарифных структур.

В следующей статье мы предложим общую формулировку, а также описание внедрения механизма управления с помощью корректировки тарифа и приложений для различных тарифных структур.

### Литература

1. *Barnhart C., Belobaba P.P. and Odoni A.R.* (2003). Applications of operations research in the air transport industry. *Transportation Science* 37(4): 368–391.
2. *Belobaba P.P.* (1987). Air travel demand and airline seat inventory management. Unpublished Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
3. *Belobaba P.P.* (1989). Application of a probabilistic decision model to airline seat inventory control. *Operations Research* 37: 183–197.
4. *Belobaba P.P.* (1992). Optimal vs. Heuristic Methods for Nested Seat Allocation, Proceedings of the AGIFORS Reservations and Yield Management Study Group, Brussels.
5. *Belobaba P.P.* (1998). The evolution of airline yield management: Fare class to origin-destination seat inventory control. In: D. Jenkins (ed.) *The Handbook of Airline Marketing*. New York, NY: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies. P. 285–302.
6. *Belobaba P. and Hopperstad C.* (2004). Algorithms for revenue management in unrestricted fare markets. Presented at the Meeting of the INFORMS Section on Revenue Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
7. *Belobaba P.P. and Weatherford L.R.* (1996). Comparing decision rules that incorporate customer diversion in perishable asset revenue management situations. *Decision Sciences* 27(2): 343–363.
8. *Belobaba P.P. and Wilson J.L.* (1997). Impacts of yield management in competitive airline markets. *Journal of Air Transport Management* 3(1): 3–10.
9. *Boyd E.A. and Kallesen R.* (2004). The science of revenue management when passengers purchase the lowest available fare. *Journal of Revenue and Pricing Management* 3(2): 171–177.
10. *Bratu S. J-C.* (1998). Network value concept in airline revenue management. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
11. *Brumelle S.L. and McGill J.I.* (1993). Airline seat allocation with multiple nested fare classes. *Operations Research* 41: 127–137.
12. *Carrier E.J.* (2003). Modeling airline passenger choice: Passenger preference for schedule in the passenger origin-destination simulator. Unpublished Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

13. *Cooper W.L., Homem-de-Mello T. and Kleywegt A.J. (2006). Models of the spiral-down effect in revenue management. Operations Research 54(5): 968–987.*
14. *Curry R.E. (1990). Optimal airline seat allocation with fare classes nested by origin and destinations. Transportation Science 24(3): 193–204.*
15. *Fiig T., Isler K., Hopperstad C. and Cleaz-Savoyen R. (2005). DAVN-MR: A Unified Theory of O&D Optimization in a Mixed Network with Restricted and Unrestricted Fare Products. AGIFORS Reservations and Yield Management Study Group Meeting, Cape Town, South Africa, May.*
16. *Gallego G. and van Ryzin G. (1997). A multi-product, multiresource pricing problem and its application to network yield management. Operations Research 45: 24–41.*
17. *Guo J.C. (2008). Estimation of sell-up potential in airline revenue management systems. Unpublished Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.*
18. *Hopperstad C.H. (1997). PODS Modeling Update. AGIFORS Yield Management Study Group Meeting, Montreal, Canada.*
19. *Hopperstad C.H. (2007). Methods for Estimating Sell-Up. AGIFORS Yield Management Study Group Meeting, Jeju Island, Korea.*
20. *Isler K., Imhof H. and Reifenberg M. (2005). From Seamless Availability to Seamless Quote. AGIFORS Reservations and Yield Management Study Group Meeting, Cape Town, South Africa, May.*
21. *Lautenbacher C.J. and Stidham S.J. (1999). The underlying markov decision process in the single-leg airline yield management problem. Transportation Science 33: 136–146.*
22. *Lee A.Y. (1998). Investigation of competitive impacts of origindestination control using PODS. Unpublished Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.*
23. *Lee T.C. and Hirsch M. (1993). A model for dynamic airline seat inventory control with multiple seat bookings. Transportation Science 27: 252–265.*
24. *Littlewood K. (1972). Forecasting and Control of Passenger Bookings, 12th AGIFORS Annual Symposium Proceedings, Nathanya, Israel. P. 95–117.*
25. *McGill J.I. and van Ryzin G.J. (1999). Revenue management: Research overviews and prospects. Transportation Science 33(2): 233–256.*
26. *Saranathan K., Peters K. and Towns M. (1999). Revenue Management at United Airlines. AGIFORS Reservations and Yield Management Study Group, 28th of April, London. Simpson, R.W. (1989) Using network flow techniques to find shadow prices for market and seat inventory control,*

- memorandum M89-1, MIT Flight Transportation Laboratory. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
27. *Smith B.C., Leimkuhler J.F. and Darrow R.M.* (1992). Yield management at american airlines. *Interfaces* 22(1): 8–31.
  28. *Smith B.C. and Penn C.W.* (1988). Analysis of alternative origin-destination control strategies. *AGIFORS Symposium Proceedings* 28: 123–144.
  29. *Talluri K.T. and van Ryzin G.* (1998). An analysis of bid-price controls for network revenue management. *Management Science* 44: 1577–1593.
  30. *Talluri K.T. and van Ryzin G.* (2004). Revenue management under a general discrete choice model of consumer behavior. *Management Science* 50(1): 15–33.
  31. *Tretheway M.W.* (2004). Distortions of airline revenues: Why the network airline business model is broken. *Journal of Air Transport Management* 10(1): 3–14.
  32. *Vinod B.* (1995). Origin and destination yield management. In: D. Jenkins (ed.) *The Handbook of Airline Economics*. New York, NY: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies. P. 459–468.
  33. *Vinyukov-Proschenko A. and Antoni A.* (2011). Modern approaches to airline revenue management. *Annales Tomus III. Academia Budapestiensis Communicationis et Negotii Budapest*. P. 18–23
  34. *Williamson E.L.* (1992). Airline network seat inventory control: methodologies and revenue impacts. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
  35. *Wollmer R.D.* (1992). An airline seat management model for a single leg route when lower fare classes book first. *Operations Research* 40(1): 26–37.

