

летворять запрос при наличии мест в классе в зависимости от установленных пределов продаж. В каждом новом срезе будем пересчитывать прогноз спроса на основе текущего числа подтвержденных бронирований и новых поступивших данных о вылетах аналогичных рейсов.

Предложенный модельный пример позволяет протестировать влияние применения различных методов восстановления и прогнозирования спроса, а также различных методов расчета оптимальных пределов продаж на реальные доходы авиакомпании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов Л. В., Фридман Г. М., Шебалов С. М.* Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: формулировки и методы решения типовых задач // Научный вестник МГТУГА. 2008. С. 49–57.
2. *Зенкова Н. А., Носова Е. В., Фридман Г. М.* Учет стохастической природы спроса при определении оптимальных пределов продаж авиационных билетов: Сборник научн. трудов // Экономическая кибернетика. 2008. Вып. 18. С. 65–68.
3. *Littlewood K.* Forecasting and Control of Passenger Bookings. Proceedings of the 12th AGIFORS Symposium. Nathanya, Israel. October, 1972. P. 95–117.
4. *Talluri K. T., Ryzin G. J. van.* The Theory and Practice of Revenue Management. 2005. Springer. 714 p.
5. *Weatherford L. R., Polt S.* Better unconstraining of airline demand data in revenue management systems for improved forecast accuracy and greater revenues // Journal of Revenue and Pricing Management. 2002. Vol. 1 № 3.

REFERENCES

1. *Vinogradov L. V., Fridman G. M., Shebalov S. M.* Matematicheskoe modelirovanie v optimizacii planirovanija aviacionnyh perevozk: formulirovki i metody reshenija tipovyh zadach // Nauchnyj Vestnik MGTUGA. 2008 S. 49–57.
2. *Zenkova N. A., Nosova E. V., Fridman G. M.* () Uchet stohasticheskoy prirody sprosa pri opredelenii optimal'nyh predelov prodazh aviacionnyh biletov: Sbornik nauchn. trudov // Ekonomicheskaja kibernetika. 2008. Vyp. 18. S. 65–68.
3. *Littlewood K.* Forecasting and Control of Passenger Bookings. Proceedings of the 12th AGIFORS Symposium., Nathanya, Israel. October, 1972. P. 95–117.
4. *Talluri K. T., Ryzin G. J. van.* The Theory and Practice of Revenue Management, 2005. Springer. 714 p.
5. *Weatherford L. R., Polt S.* Better unconstraining of airline demand data in revenue management systems for improved forecast accuracy and greater revenues // Journal of Revenue and Pricing Management. 2002. Vol. 1 № 3.

О. В. Лавренюк

ОПИСАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОХОДАМИ АВИАКОМПАНИИ

Описывается компьютерный симулятор, позволяющий моделировать процессы управления доходами авиакомпании с целью оценки эффективности принимаемых решений.

Ключевые слова: управление доходами, симуляция процесса продаж, математическое моделирование.

A COMPUTER SIMULATION MODEL FOR AIRLINE REVENUE MANAGEMENT

The computer simulation model described in the article has been developed to estimate decision making effectiveness in airline revenue management.

Keywords: revenue management, computer simulation of airline tickets purchase, mathematical modeling.

Управление доходами в авиакомпаниях России находится в начале своего развития, в то время как зарубежные перевозчики применяют его методы с момента разработки: теория управления доходами как область исследования операций зародилась в 70-е годы прошлого века, именно исходя из нужд авиации. Поэтому на данный момент важно понять, какие модели применительно к российской действительности дают оптимальный результат.

Деятельность авиакомпании от процесса управления доходами до регистрации можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).



Рис. 1. Схема деятельности авиакомпании

Каждая стрелка на схеме обозначает поток информации из одного блока в другой, сплошная стрелка предполагает обязательную связь между блоками, пунктирная — подразумевает возможность изолированного существования данных процессов. То есть, напри-

мер, для определения стратегии продаж необходимы данные о прогнозе спроса, а использование сверхлимитной вместимости не обязательно. В представленной схеме можно выделить основные разделы: задача управления доходами, процесс продаж и процесс регистрации.

К задаче управления доходами относятся следующие секции:

- прогнозирование спроса;
- определение сверхлимитной вместимости;
- определение стратегии продаж.

Каждая секция представляет собой отдельную многопараметрическую оптимизационную задачу. Различные комбинации этих задач могут быть использованы при выборе конечной стратегии продаж авиабилетов. Стратегия продаж подразумевает определение оптимальных пределов бронирования для всех продуктов на всех рейсах, а также систему вложения. Покупатель приобретает не билет на рейс, а определенную услугу по перелету — продукт, в который может входить несколько рейсов, а также сочетания этих рейсов могут различаться по классу обслуживания, например, бизнес- и эконом-классы. Предел бронирования — максимальное количество мест, выделяемых данному продукту для продажи [1; 2]. В результате реального процесса продаж не учитывается информация о покупателях, которым было отказано в продаже билета, что не дает возможности более точно оценить реальный спрос и эффективность выбранной стратегии.

Целью статьи является описание компьютерного симулятора, позволяющего моделировать деятельность авиакомпании. Учет информации о потоке покупателей, полученном при моделировании, позволит получить полные данные о реальном спросе и даст возможность проанализировать различные сценарии поведения в зависимости от выбранной стратегии. Рассмотрим более подробно описываемые разделы.

Задача управления доходами. Блок с информацией о полетном расписании содержит данные о номерах рейсов, о времени их отправления и прибытия, об аэропортах, о назначенных воздушных судах на рейсы, о предоставляемых продуктах и т. д. В задаче управления доходами эти сведения являются заданными, но также могут быть получены как результат решения задачи планирования летного расписания. Данные о полетном расписании являются одним из основных источников информации для решения задачи управления доходами.

Другим источником информации является блок с историческими данными. Он содержит информацию об уже улетевших аналогичных рейсах. В этом блоке можно найти полные данные о том, сколько именно пассажиров улетело конкретным рейсом в заданном ценовом классе. Исторические данные могут быть использованы при прогнозировании спроса.

Прогноз спроса обычно носит вероятностный характер, хотя при использовании некоторых математических моделей спрос может быть детерминирован. Под вероятностным прогнозом понимается предположение о том, что спрос на класс является случайной величиной, распределенной по некоторому, чаще всего нормальному, закону распределения с заданными оценками параметров (для нормального закона — средним и среднеквадратичным отклонением, СКВО). В случае детерминированного спроса предполагается, что авиакомпании заранее известно точное количество покупателей. Цель прогнозирования — рассчитать для каждого класса два параметра: среднее и СКВО спроса при известном законе распределения.

Спрос на продукты прогнозируется на весь горизонт продаж, который обычно составляет 90 дней. Горизонт продаж разбивается на несколько участков (data collection periods, DCP).

На следующем этапе после определения спрогнозированного спроса авиакомпания может определить сверхлимитную вместимость.

Под сверхлимитной вместимостью, или бронированием (overbooking), следует понимать продажу авиабилетов, количество которых превышает вместимость самолета, назначенного на данный рейс, с целью компенсировать, таким образом, количество не пришедших к регистрации пассажиров [1; 2]. Сверхлимитное бронирование несколько отличается от основных задач управления доходами, так как помогает максимально использовать вместимость самолета при наличии значительного количества отказов от бронирования и неявок к регистрации.

В то же время сверхлимитные продажи несут в себе риск появления «лишних» пассажиров, т. е. тех, кому был продан билет, но нет места в самолете. А это, в свою очередь, вызывает дополнительные расходы авиакомпании на компенсации для этих пассажиров и потерю репутации.

Таким образом, задачей сверхлимитной вместимости является нахождение оптимального с точки зрения прибыли количества проданных на данный рейс билетов.

Следующим шагом в деятельности авиакомпании является определение стратегии продаж. При использовании стратегии на уровне рейсов пределы бронирования для двух ценовых классов рассчитываются по правилу Литтлвуда. На практике авиакомпании используют гораздо больше ценовых классов, и, соответственно, им требуются более сложные модели управления. Обобщением модели Литтлвуда для n -ценовых классов является эмпирический метод EMSR (Expected Marginal Seat Revenue), имеющий различные версии [2].

Применяя стратегии продаж только на уровне рейсов, авиакомпании обычно не учитывают сетевой эффект от продажи продуктов, что может привести к существенной потере прибыли. Под сетевым эффектом понимается то, что стратегия продаж определяется с учетом влияния рейсов друг на друга, в ином случае все рейсы рассматриваются изолированно. Для учета сетевого эффекта на уровне рейсов авиакомпании необходимо воспользоваться результатами решения задачи определения стратегии продаж на уровне продуктов (сетевые модели: детерминированная, линейная стохастическая и нелинейная стохастическая) из-за сложной структуры взаимодействия прибыли от продажи этих продуктов между рейсами [2].

Чтобы определить, к какому ценовому классу относится конкретный продукт на данном рейсе, необходимо найти двойственные переменные или коэффициенты Лагранжа при решении сетевых моделей. С экономической точки зрения, эти параметры характеризуются как **неявные** или **«теневые»** цены ресурсов, определяемые ограничениями. Их оптимальные значения играют важную роль в анализе чувствительности решений: скорость изменения оптимального значения функции цели, вызванная изменением правой части ограничения, определяется оптимальным значением множителя Лагранжа или оптимальным значением двойственной переменной. Благодаря «теневым» ценам впоследствии можно будет определить «сетевую» цену для каждого продукта в зависимости от рейса.

Найденная сетевая цена позволит определить ценовой класс продукта на любом рейсе. Также при необходимости эта информация может быть использована при объединении продуктов в группы или корзины; такое объединение связано с тем, что на каждом рейсе оказывается более десятка продуктов. Включать каждый из них в дальнейшие расчеты может быть не только невыгодно, но это также может увеличить расходы, связанные со временем и с финансами [2].

Пределы бронирования для продуктов или корзин на каждом рейсе вычисляются по методу EMSR.

Блок определения стратегии продаж является последним при решении задачи управления доходами. Далее согласно выбранной стратегии авиакомпания начинает продажи. Чтобы оценить экономическую эффективность той или иной стратегии, а также проанализировать различные варианты поведения авиакомпании, смоделируем процесс продаж авиабилетов.

Моделирование процесса продаж и процесса регистрации. Для моделирования указанных процессов авиакомпании необходимо выполнить следующие действия:

- сгенерировать поток покупателей;
- смоделировать сам процесс продаж;
- сгенерировать приход пассажиров на регистрацию и смоделировать процесс регистрации.

Генерация потока покупателей предполагает моделирование процесса запросов на покупку определенных продуктов. Сгенерированный поток запросов представляет собой список четверок: $\{N, t, p, q\}$, где N означает номер уникального события, t — минута появления покупателя, p — идентификатор продукта, который желают приобрести или вернуть в зависимости от значения $q = \pm 1$. Генерация потока покупателей происходит на основе параметров «реального» спроса $\{\mu_{pt}, s_{pt}\}$, которые определяются как $\mu_{pt} = k_p^1 m_{pt}$, $s_{pt} = k_p^2 a_{pt}$, где $\{m_{pt}, a_{pt}\}$ — параметры спрогнозированного спроса, коэффициенты k_p^1 и k_p^2 характеризуют точность прогноза по среднему значению и СКВО соответственно (p — номер продукта, t — номер интервала DCP). В случае, когда $k_p^1 = 1$ и $k_p^2 = 1$, первоначальный прогноз является верным, то есть параметры прогноза спроса определены точно.

После генерирования потока покупателей, с учетом информации об ошибках прогноза спроса, необходимо провести симуляцию процесса продаж. Для этого нужно создать специальные программы, которые будут моделировать процедуру продажи билета согласно выбранной стратегии. Такие программы должны учитывать информацию о потоке покупателей, об остаточной вместимости воздушных судов (ВС), о стоимости продуктов, о принадлежности продуктов по рейсам, а также рассчитанных пределах бронирования и способах их вложения и округления.

При продаже билета на продукт p уменьшаются на единицу текущие вместимости всех рейсов, которые включают в себя этот продукт, и уменьшаются пределы бронирования согласно выбранной системе вложения, поэтому запрос $\{N, t, p, q\}$ считается удовлетворенным при условии, что все текущие пределы бронирования этого продукта положительны, и отклоняется в противном случае.

Для увеличения прибыли от продажи билетов необходимо производить корректировку используемой стратегии перед началом каждого интервала DCP. Для этого при симуляции процесса продаж необходимо разделить список потока покупателей по соответствующим интервалам DCP, таким образом в программу продавца будет входить только информация о потоке покупателей в данном временном интервале. По окончании каждого интервала DCP процесс продаж останавливается и начинается расчет новых пределов бронирования согласно выбранной стратегии в зависимости от остаточной вместимости ВС и остаточного спрогнозированного спроса. Термины «остаточная вместимость» или «остаточный спрогнозированный спрос» означают количество ресурсов, имеющихся к моменту проведения расчетов. После осуществления этих операций процесс продаж возобновляется в следующем интервале DCP. Результатом работы таких программ будут полученная прибыль от продажи продуктов и список удовлетворенных запросов.

По окончании продаж формируется информация о пассажирах, купивших билеты на конкретные рейсы. Эта информация необходима для моделирования процесса регистрации.

Для каждого рейса генерируется поток прихода пассажиров к регистрации $\{N, d\}$ на основании списка удовлетворенных запросов $\{N, t, p, q\}$ с учетом информации о вероятности прихода пассажира и ошибки прогноза, где N — уникальный идентификатор пассажира, а d — время его прихода на регистрацию. Таким образом, становится известно количество пассажиров, пришедших к регистрации. Если их число больше вместимости самолета, необходимо переместить кого-то на другие рейсы. Авиакомпании часто предлагают пассажирам перемещение на другой рейс с выплатой компенсации за возникший инцидент. Компенсация пассажиру, перемещенному с данного рейса, зависит от того, был ли его уход добровольным, а также от стоимости приобретенного им продукта. Компенсации вычитаются из прибыли, полученной от продажи продуктов, следовательно, по завершении регистрации для каждого рейса имеются сведения о пассажирах, вылетевших этим рейсом, и прибыли за вычетом компенсаций.

Полученные сведения сохраняются в базе данных, содержащей историческую информацию, и могут быть использованы для дальнейших прогнозов.

Моделирование описанных событий позволяет оценить эффективность принимаемых управленческих решений, а также дает возможность проанализировать различные сценарии своего поведения в заранее заданных условиях:

- при выборе временных рамок для осуществления некоторых рейсов;
- при назначении типажности ВС на рейсы полетного расписания;
- при вычислении уровня сверхлимитных продаж;
- при определении пределов бронирования на ценовые классы и необходимости группировки по корзинам;
- при учете сетевого эффекта для определения стратегии продаж и т. д.

Более того, описанный компьютерный симулятор может быть усовершенствован для применения вместе с другими задачами управления авиакомпанией, таких как планирование расписания, расстановка парка ВС и т. д.

Также использование компьютерного симулятора позволяет более качественно проводить обучение персонала различных подразделений авиакомпании, деятельность которых связана с планированием расписаний и с управлением доходами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Talluri K. T., Ryzin G. J. van () The Theory and Practice of Revenue Management. Springer, 2005.
2. Виноградов Л. В., Фридман Г. М., Шебалов С. М. Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: формулировки и методы решения типовых задач // Научный вестник МГТУГА. 2008. С. 49–57.

REFERENCES

1. Talluri K. T., Ryzin G. J. van. The Theory and Practice of Revenue Management. Springer, 2005.
2. Vinogradov L. V., Fridman G. M., Shebalov S. M. Matematicheskoe modelirovanie v optimizacii planirovaniya aviacionnyh perevozok: formulirovki i metody reshenija tipovyh zadach // Nauchnyj Vestnik MGTUGA. 2008. S. 49–57.