

Научная статья

УДК 621.396

DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-05>

Сглаживание защиты тарифных классов и вторичное восстановление спроса*

Д.А. Шарипов¹

¹ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия)

¹ dasharipov@fa.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Актуальность исследования данной проблемы обусловлена необходимостью разработки оперативного инструментария для системы управления доходами (RMS) гражданских судов в секторе авиаперевозок.

Цель. Разработать оригинальный метод для оптимизации вторичного восстановления спроса на авиабилеты и повышения эффективности прогнозирования заполняемости салона (или кабины) самолета в системе управления доходами (IMS).

Результаты. Показан оригинальный оптимизационный метод для вторичного восстановления спроса на открытие и закрытие тарифных классов самолета в секторе гражданских авиаперевозок. Отмечено, что суть метода заключается в перераспределении спроса с использованием вероятностного фрактального параметра. Установлено, что предложенный метод обеспечивает более сглаженное регулирование по тарифным классам авиаперевозок, способствуя снижению рисков не заполняемых классов и повышению оперативности в области IMS.

Практическая значимость. Разработанный метод, использующий фрактальный параметр для сглаживания первичного восстановления спроса (начальный прогноз заполняемости кабины), обеспечивает эффективное перераспределение заполняемости бронирования по классам, снижая финансовые риски.

Ключевые слова

Оптимизационные методы управления спросом, сглаживание защиты тарифных классов, IMS, управление загрузкой рейсов, RMS, управление доходами авиаперевозок

Для цитирования

Шарипов Д.А. Сглаживание защиты тарифных классов и вторичное восстановление спроса // Нелинейный мир. 2025. Т. 23. № 3. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-05>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном авиационном бизнесе управление спросом и загрузкой рейсов является ключевым элементом системы управления доходами (Revenue Management System, RMS). Эффективное прогнозирование и оптимизация спроса позволяют авиакомпаниям принимать обоснованные решения о ценообразовании, открытии и закрытии тарифных классов, а также обеспечивать конкурентное преимущество на рынке авиаперевозок. Однако решение этих задач связано с высокой степенью сложности из-за многомерности данных, волатильности спроса и необходимости учитывать динамику продаж.

В статье [1], а также в других работах автором предложены как классические, так и авторские методики, направленные на повышение точности прогнозирования и оптимизации спроса. Акцент сделан на оптимизационные методы управления спросом. Рассматриваются также модификации классического метода Р. Belobaba, дополненные фрактально сглаживающими процедурами, которые направлены на снижение волатильности.

Ц е л ь р а б о т ы – разработать оригинальный метод для оптимизации вторичного восстановления спроса на авиабилеты и повышения эффективности прогнозирования заполняемости салона (или кабины) самолета в системе управления доходами (IMS).

В данной статье подробно анализируется именно этот метод, который является критически важным для динамического управления загрузкой рейсов (Inventory Management System, IMS) в рамках системы управления доходами (Revenue Management System, RMS) [2, 3].

Результаты исследования демонстрируют значительный прогресс в области прогнозирования и управления спросом, предлагая новые подходы к решению сложных многопараметрических задач. Эти достижения имеют практическую ценность для авиакомпаний и могут способствовать повышению их операционной эффективности в условиях высокой конкуренции [4–11].

Вторичное восстановление спроса с использованием фрактального параметра

Рассмотрим графическое представление примера восстановления спроса методом Р. Велобаба для произвольной Y-кабины (рис. 1).

На оси OX расположены классы в порядке убывания цены: от Y — самого дорогого класса до V — самого дешевого класса. На оси OY отображена загрузка по классам. В данном примере хорошо видно, что более дорогие классы имеют пропуски или недостаточную заполненность.

Поскольку итоговый результат прогноза не обладает достаточной гладкостью, применяем оригинальный метод восстановления защиты классов с использованием фрактального параметра

$\alpha = CAP^{\frac{-1}{K-1}}$. Этот подход основан на сглаживании итогового результата прогноза загрузки кабины, что позволяет повысить точность и стабильность прогнозирования. Приведем пример реализации такого подхода (рис. 1).

Введем обозначения для вторичного восстановления спроса:

A — число бронирований произвольного класса;

$\alpha^{K-1} = \alpha^{K-1}$, где K пробегает натуральные числа;

CAP — продаваемая емкость кабины;

M — число классов кабины;

K — число классов кабины сглаживания (глубина сглаживания);

$\alpha = CAP^{\frac{-1}{K-1}}$ (фрактальный параметр доли передачи в более дорогой класс);

$g[1...M]$ — текущие несглаженные защиты классов кабины;

$gg[1...M]$ — вспомогательные несглаженные защиты классов кабины, в которых вместо 1 поставлен 0 (не трансформируем единичные защиты):

$$gg[i] = \begin{cases} g[i], & \text{если } g[i] \neq 1, \\ 0, & \text{если } g[i] = 1, \end{cases}$$

$gsm[1...M] = 0$ — будущие сглаженные защиты классов кабины;

цикл $j = 1, \dots, M$;

```
{
  цикл  $i = 1, \dots, K$ 
  {
    if ( $j - K + i \geq 1$ )
    {
      if ( $i == 1$  or  $j - K + i == 1$ )
      {
         $gsm[j - K + i] = gsm[j - K + i] + \alpha^{K-i} \cdot gg[j]$ 
      }
    }
    else
    {
       $sm[j - K + i] = gsm[j - K + i] + \alpha^{K-i} \cdot gg[j] - \alpha^{K-i+1} \cdot gg[j]$ 
    }
  }
}
```

}

}

После распределения сдвигов выделяем целую часть (не округляем!)

$$gsm = trunc(gsm)$$

и восстанавливаем изъятые ранее единицы:

$$sm[i] = \begin{cases} gsm[i], & \text{если } g[i] \neq 1, \\ gsm[i] + 1, & \text{если } g[i] = 1. \end{cases}$$

Далее восстанавливаем нормировку под CAP , т.е. прибавляем потерянную емкость $CAP - sum(gsm)$ в самый изначально защищенный класс кабины (если таких классов несколько, то только в один из них):

$$gsm[i] = \begin{cases} gsm[i], & \text{если } g[i] \text{ не максимален,} \\ gsm[i] + CAP - sum(gsm), & \text{если } g[i] \text{ максимален.} \end{cases}$$

Рассмотрим *примеры вторичного прогнозирования защиты классов методом Р. Belobaba*.

Сценарий 1а. Представленные данные (рис. 1) демонстрируют защиту классов методом Р. Belobaba для кабины Y . Легко заметить, что полученные результаты характеризуются недостаточной гладкостью, а такие родительские (старшие) классы, как L и X , остались незаполненными. Даны первоначальные загрузки классов (рис. 1). В дальнейшем будем для примеров рассматривать фиксированную кабину Y .

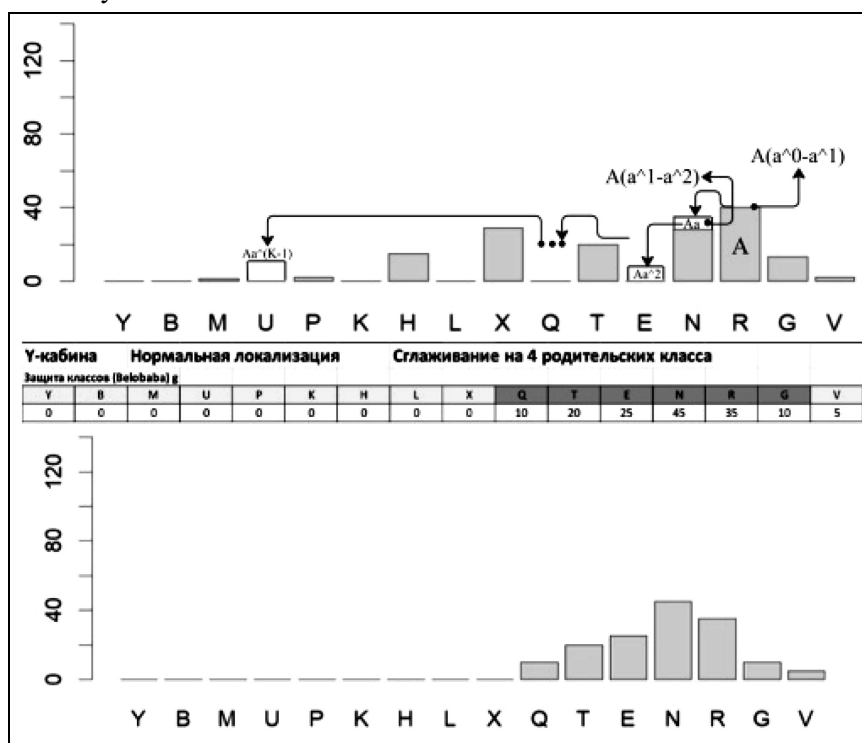


Рис. 1. Сглаживание методом фрактального параметра и защита на 4 родительских класса

Fig. 1. Fractal parameter smoothing and protection for 4 parent classes

Используя метод, основанный на фрактальном параметре и описанный ранее, на 4 родительских (или более дорогих) класса, получим более равномерный результат относительно предоставленных ранее данных.

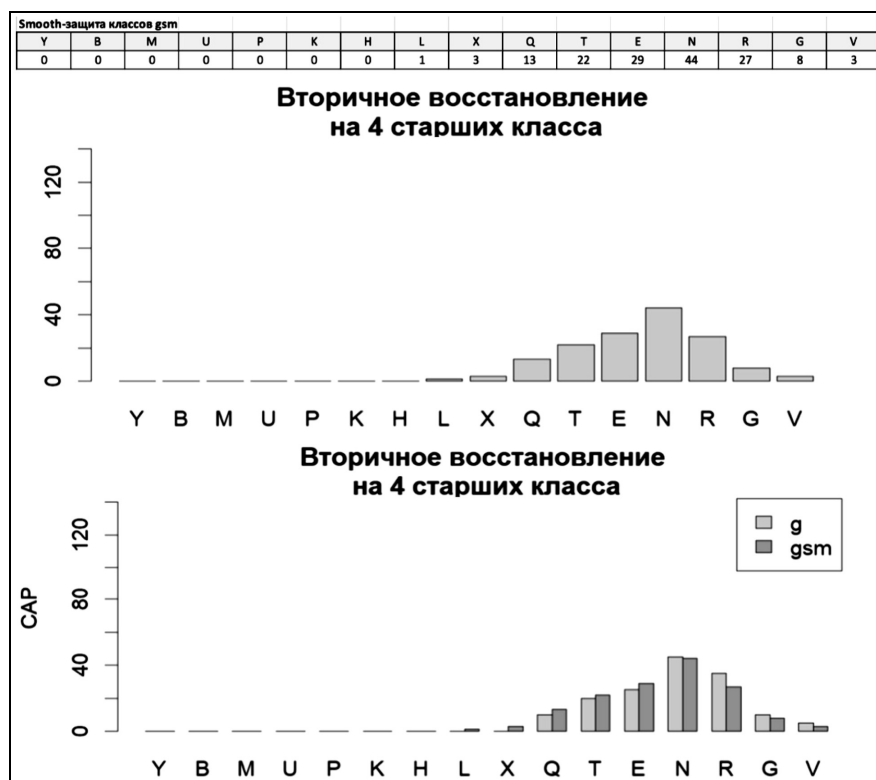


Рис. 2. Защита на 4 родительских класса

Fig. 2. Protection for 4 parent classes

На рис. 2 отчетливо видно, что спрос на более дорогие классы *L* и *X* значительно вырос. Этот рост не только усилил их привлекательность для потребителей, но и стал важным фактором формирования общей ценовой стратегии. В результате в рамках общего ценового диапазона сформировалась более прибыльная модель, где премиальные классы играют существенную роль, обеспечивая компании устойчивый рост доходов.

Для большей наглядности добавим в рассмотрение предоставленный начальный прогноз (*g*) и более сглаженный результат (*gsm*) (рис. 2). Под переменной *g* рассматриваем оптимизационный метод Р. Belobaba загрузки кабины. Под переменной *gsm* полагаем термин «сглаживание», которое базируется на оригинальном методе, описанном ранее.

Сценарий Ib. Рассмотрим случай, когда имеется вторичное восстановление на 5 старших классов при нормальной локализации загрузки кабины. Взяв исходные данные из вторичного восстановления на 4 старших класса (рис. 2) и применив метод сглаживания для 5 родительских класса, получим более совершенную модель в ценном сегменте прогнозирования.

Сценарий IIa. Особый интерес представляет анализ ситуаций, когда в классовой структуре наблюдаются пропуски. На рис. 3 отчетливо демонстрируется загрузка кабины по классам, где заметны пропуски в сегментах *U*, *K*, *L* и *Q*. Эти пропуски в классовой структуре могут свидетельствовать о различных рыночных тенденциях и предпочтениях потребителей, открывая новые возможности для оптимизации предложения фрактальным параметром.

Применив метод сглаживания, можно получить более «плавный» результат относительно пропусков в классах.

Из рис. 4 видно существенное улучшение загрузки классов кабины, в которых ранее были пропуски (*K*, *L* и *Q*).

Сценарий IIIa. В завершение исследования обратим внимание на предпоследний сценарий вторичного восстановления, который иллюстрирует ситуацию, когда в классах загрузки кабины наблюдаются пропуски. Этот случай представляет собой важный аспект для понимания динамики

загрузки и может служить основой для дальнейшего исследования путей оптимизации и улучшения эффективности использования пространства в кабине. Для этого случая приведены первоначальные данные по загрузке кабины Y в различных классах.

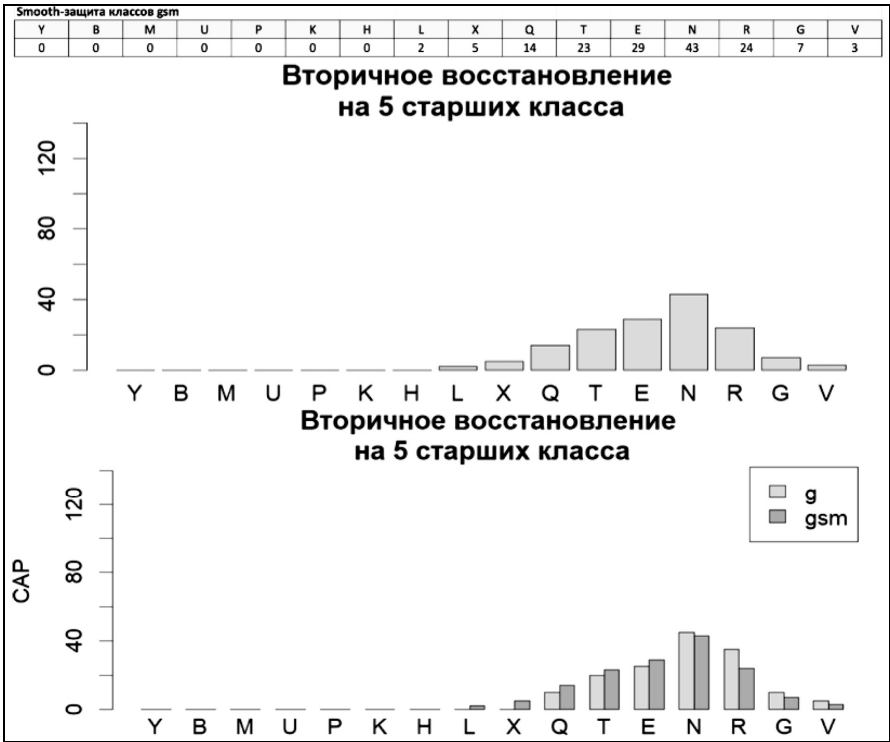


Рис. 3. Защита на 5 родительских классов (сравнительный графический вид)

Fig. 3. Protection for 5 parent classes (comparative graphical view)

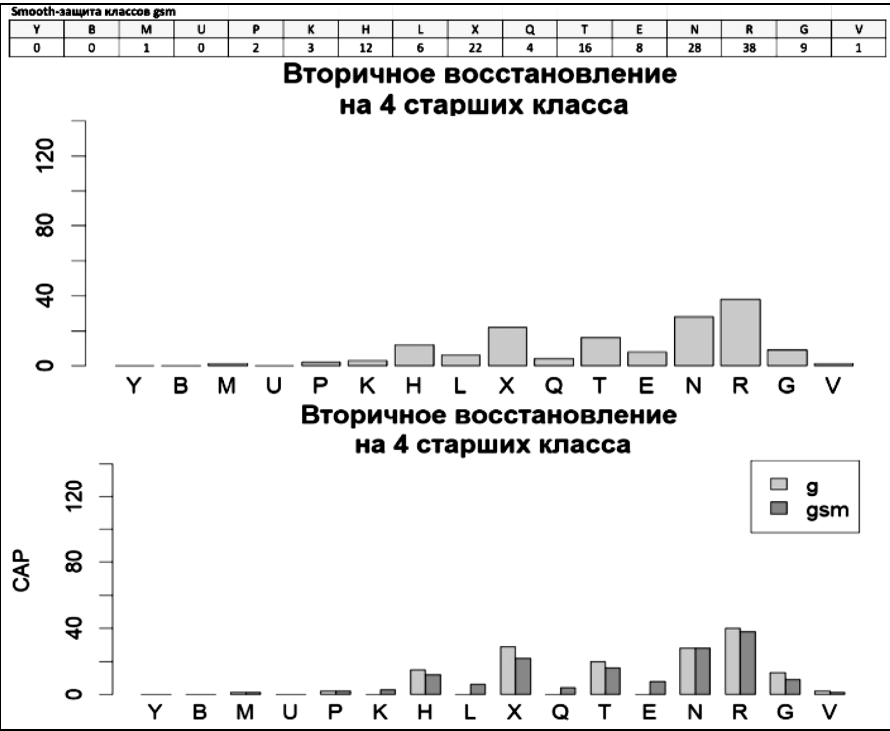


Рис. 4. Защита на 4 родительских класса (табличный вид сглаживающий)

Fig. 4. Protection for 4 parent classes (smoothing tabular view)

Используя метод, основанный на фрактальном параметре на 4 родительский классах, получили сглаживающий результат (рис. 5). Заметим, что в основных данных, где наблюдался так называемый разрыв загрузки кабины, эти разрывы были устранены.

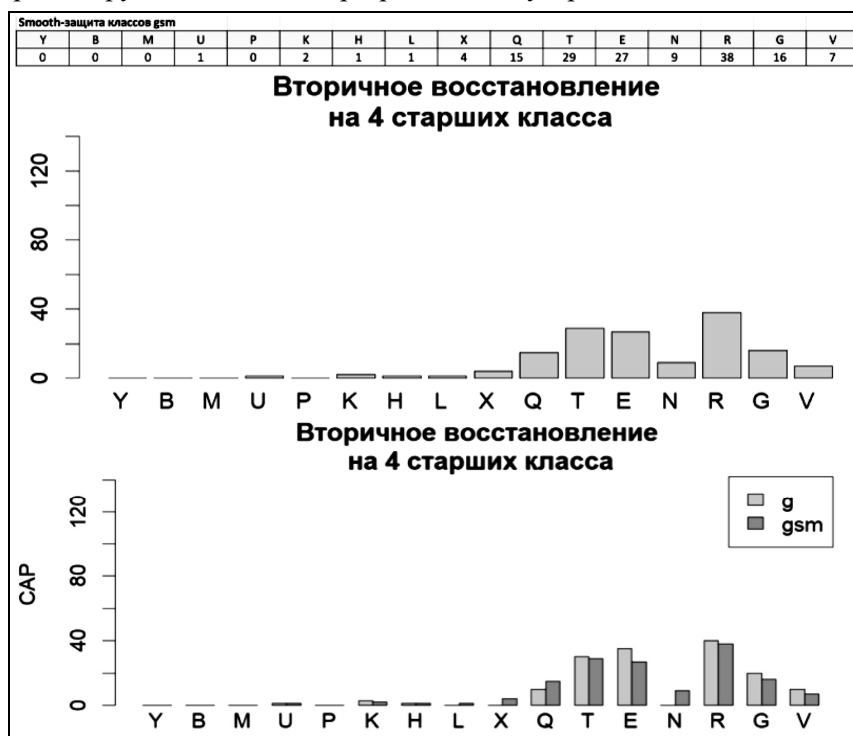


Рис. 5. Защита на 4 родительских класса (сглаживающий результат)

Fig. 5. Protection for 4 parent classes (smoothing result)

Заключение

Проведенное исследование показало, каким образом происходит совершенствование системы за-полняемости классов кабины авиаперевозок, а также оптимизируется результат прогнозируемости спроса после неравномерного первичного прогноза. Предлагаемый алгоритм сглаживания основывается на фрактальном параметре перераспределения прогнозируемого спроса. Разработанный метод позволяет минимизировать финансовые потери от резких колебаний загрузки и повысить эффективность RMS. Визуализация, проведенная с использованием примеров, наглядно демонстрирует, как фрактальное сглаживание преобразует неравномерную нагрузку в управляемый процесс.

Внедрение фрактально сглаживающих процедур для снижения не заполненных классов в кабине самолета может продемонстрировать свою эффективность и актуальность в современных условиях высокого спроса в секторе авиаперевозок. Представленные методы позволяют различным авиакомпаниям более эффективно контролировать открытие и закрытие классов для формирования спроса и оптимизировать загрузку IMS, что является критически важным для улучшения RMS.

Список источников

1. Шарипов Д.А. Информационные технологии оптимизации больших размерностей в управлении доходами (RMS) авиаперевозок. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2023. Т. 21. № 5. С. 56–62.
2. Дубинина В.Г. Сценарная модель экономических прогнозов авиакомпании. // Управление информационными потоками. Сборник трудов ИСА РАН под ред. член-корреспондента РАН В.Л. Арлазарова. М.: Едиториал УРСС. 2005. С. 130–134.
3. Дубинина В.Г. Программная реализация аналитической системы расчета рентабельности авиаперевозок // Информационные технологии в технических системах. М.: ИКТИ РАН. 2004. № 4. С. 25–30.

4. *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.
5. *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.
6. *Борисова Л.Р., Бывшев В.А., Влодова А.Ю.* и др.; под ред. *С.А. Зададаева*. Цифровизация математики в вузе: Монография. М.: Прометей. 2021. С. 578.
7. *Зададаев. С.А.* Математика на языке R: учебник // Финансовый университет при Правительстве РФ. М.: Прометей. 2024. С. 346.
8. *Littlewood K.* Forecasting and Control of Passenger Bookings. Proceedings of the 12th AGIFORS Symposium. Nathanya. Israel. October, 1972. P. 95–117.
9. *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. V.1. № 3.
10. Revenue Management System. Reports of International Conference. IATA. 1997. P. 1–345.
11. *Gillian Jenner.* Airport IT Trends. Airline Business. October. 2008.

Информация об авторе

Данила Алексеевич Шарипов – ассистент кафедры математики Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
SPIN-код: 2122-1238

Статья поступила в редакцию 03.06.2025

Одобрена после рецензирования 11.06.2025

Принята к публикации 30.06.2025

ВНИМАНИЕ!

В Издательстве «Радиотехника» вы можете подписаться на любой выпускаемый нами печатный журнал.

Подписка непосредственно через Издательство освободит вас от дополнительных расходов.

ООО Издательство Радиотехника

101000, г. Москва, Подсосенский переулок, д.14, стр.2

+7(495)625-92-41, +7(495)621-48-37

<http://www.radiotec.ru>

info@radiotec.ru

Original article

Smoothing out tariff class protection and secondary recovery in demand

D.A. Sharipov¹¹ Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia)¹ dasharipov@fa.ru

Abstract

The relevance of the study is due to the need to develop operational tools for the revenue management system (RMS) of civil aircraft in the air transportation sector.

Objective – development of an original method for optimizing secondary demand recovery for air tickets and improving the efficiency of forecasting the occupancy of the cabin (or cabin) of an aircraft in the revenue management system (IMS).

The paper presents an original optimization method for secondary demand recovery for opening and closing tariff classes of an aircraft in the civil air transportation sector. The essence of the method lies in the redistribution of demand using a probabilistic fractal parameter. The proposed method provides a smoother regulation by tariff classes of air transportation, helping to reduce the risks of unfilled classes and increase efficiency in the IMS field.

A method has been developed that uses a fractal parameter to smooth the primary demand recovery (initial forecast of cabin occupancy), ensuring effective redistribution of booking occupancy by classes, reducing financial risks.

Keywords

Optimization methods of demand management, smoothing the protection of tariff classes, IMS, flight load management

For citation

Sharipov D.A. Smoothing out tariff class protection and secondary recovery in demand. *Nonlinear World*. 2025. V. 23. № 3. P. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-05> (In Russian)

REFERENCES

1. Sharipov D.A. Informacionnye tekhnologii optimizatsii bol'shikh razmernostey v upravlenii dohodami (RMS) aviaperevozok. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2023. T. 21. № 5. S. 56–62 (In Russian).
2. Dubinina V.G. Scenarnaya model' ekonomicheskikh prognozov aviakompanii. Upravlenie informacionnymi potokami. Sbornik trudov ISA RAN pod red. chlen-korrespondenta RAN V.L. Arlazarova. M.: Editorial URSS. 2005. C. 130–134 (In Russian).
3. Dubinina V.G. Programmaya realizatsiya analiticheskoy sistemy rascheta rentabel'nosti aviaperevozok. Informacionnye tekhnologii v tekhnicheskikh sistemah. M.: IKTI RAN. 2004. № 4. C. 25–30 (In Russian).
4. Zenkova N. A., Nosova E. V., Fridman G. M. Uchet stohasticheskoy prirody sprosa pri opredelenii optimal'nykh predelov prodazh aviacionnykh biletov: Sbornik nauchi. trudov. Ekonomicheskaya kibernetika. 2008. Vyp. 18. S. 65–68 (In Russian).
5. Vinogradov L. V., Fridman G. M., Shebalov S. M. Matematicheskoe modelirovanie v optimizatsii planirovaniya aviacionnykh perevozok: formulirovki i metody resheniya tipovykh zadach. Nauchnyy vestnik MGTUGA. 2008. S. 49–57 (In Russian).
6. Borisova L.R., Byvshev V.A., Vladova A.Yu. i dr.; pod red. S.A. Zadadaeva. Cifrovizatsiya matematiki v vuze: Monografiya. M.: Prometej. 2021. C. 578 (In Russian).
7. Zadadaev. S.A. Matematika na yazyke R: uchebnik. Finansovyy universitet pri Pravitel'stve RF. M.: Prometej. 2024. C. 346 (In Russian).
8. Littlewood K. Forecasting and Control of Passenger Bookings. Proceedings of the 12th AGIFORS Symposium. Nathanya. Israel. October, 1972. P. 95–117.
9. 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. V.1. № 3.
10. Revenue Management System. Reports of International Conference. IATA. 1997. P. 1–345.
11. Gillian Jenner. Airport IT Trends. Airline Business. October. 2008.

Information about the author

Danila A. Sharipov – Assistant of the Department of Mathematics Financial University under the Government of the Russian Federation

The article was submitted 03.06.2025

Approved after reviewing 11.06.2025

Accepted for publication 30.06.2025