

Моделирование заполняемости платных парковок: регрессионный анализ с учетом клиентского поведения

И.Р. Ерёмин

*Финансовый университет при правительстве Российской Федерации, Москва,
Российская Федерация*

Аннотация: В статье описывается методология построения регрессионной модели заполняемости платных парковочных зон с учетом неравномерного распределения сессий в течение дня и особенностей поведения двух групп клиентов – регрессионная модель состоит из двух уравнений, учитывающих особенности каждой группы. Кроме того, описан процесс создания модели данных, сбор, обработка и анализ данных, распределения заполняемости в течение дня. Также приведена методология моделирования явления, распределение которого имеет форму колокола и зависит от времени суток. Результаты могут быть использованы коммерческими предприятиями, управляющими парковками, и городскими администрациями, исследователями при моделировании аналогичных показателей, которые демонстрируют нормальное распределение, характерное для многих естественных процессов (клиентопоток в отделениях банка, пополнение и/или снятие средств в течение жизни пополняемых депозитов и т. п.).

Ключевые слова: платные парковки, заполняемость, регрессионная модель, клиентское поведение, поведенческая сегментация, устойчивость модели, моделирование, прогнозирование, управление парковкой, распределение показателя

Введение

С увеличением числа автомобилей и проблемой нехватки парковочных мест в больших городах эффективное управление парковкой становится одной из ключевых задач для городской администрации. Современные технологии, такие как системы интеллектуального управления парковкой, позволяют не только оптимизировать использование существующих ресурсов, но и предсказывать заполняемость новых парковочных мест. В данной статье предлагается регрессионная модель, ориентированная на анализ пространственных факторов и учитывающую клиентское поведение, для точного прогнозирования заполняемости платных парковочных зон.

Актуальность исследования

В силу необходимости долгого согласования с законодательными органами и администрацией города, нет возможности оперативно вводить и закрывать парковочные зоны, менять тарифы, поэтому ввод новых и

изменение действующих зон сопровождается длительным периодом обсуждений и утверждений. Необходим инструмент, позволяющий наиболее точно прогнозировать поступления и заполняемость зон. Несмотря на современные возможности учета парковочных сессий, данные по клиентам ограничены в силу требований законодательства.

Использование регрессионной модели, учитывающее различия двух групп пользователей, может привести к более точному прогнозу.

Обзор исследований

Операторы платных парковок по всему миру стараются повысить удобство парковки в городах для пользователей, внедряя цифровые сервисы, такие как предварительное бронирование парковочных мест, управление тарифами для контроля наличия парковочных мест, безбарьерный въезд и выезд с помощью систем распознавания номерных знаков камерами, безналичную оплату [1, 2]. Клиенты стремятся минимизировать свои затраты и рассматривают общую стоимость поездки как эквивалент затрат, связанных с ценностью времени: альтернативные издержки, такие как время ожидания и время в пути до точки притяжения и обратно [3, 4]. Высокие тарифы на парковку, как правило, стимулируют клиентов пользоваться общественным транспортом, такси или парковаться на отдаленных бесплатных автостоянках [5].

Получение более высоких коммерческих доходов и достижение экологической устойчивости являются одними из основных задач, стоящих перед руководством сервисов платных парковок [5]. Если цена за парковку слишком высока, клиенты, скорее всего, даже не будут парковаться (по крайней мере на продолжительное время), в то время как платные парковочные места в городе будут немедленно «распроданы», если плата за парковку будет слишком низкой, а это означает, что оптимальное ценообразование является ключом к максимальному использованию

пропускной способности и доходам от парковки. Целевым значением заполняемости в течение является 70–95 %, как указывается в различных источниках [6]. В Распоряжении Министерства транспорта Российской Федерации от 7 сентября 2023 года № АК-188-р «Об утверждении методических рекомендаций по определению размера платы за пользование платными парковками» рекомендуется интервал от 70% до 85%.

Город также может передать парковочный бизнес на аутсорсинг концессионерам, которые управляют парковками и услугами перевозок пассажиров [7]. Внедрение системы управления доходами для контроля цен и «запасов» является решающим фактором для максимизации коммерческих доходов от сервиса платных парковок.

В рамках теории игр Корягиным М.Е. и Вылегжаниным И.А. [8] рассматривается задача распределения городской территории возле некоторого центра притяжения (аэропорта, вокзала, ТРЦ и т. п.) между платной и бесплатной парковками. Теоретически описано взаимодействие участников, рассмотрены целевые функции игроков и доказано существование равновесия Нэша, в частности, описана целевая функция собственника платной парковки, зависящая от ставки тарифа, стоимости времени пользователя, времени поиска парковочного места, интенсивности потока автотранспорта и затрат собственника на одно парковочное место.

Исследования в области управления парковкой свидетельствуют о том, что точность прогнозирования заполняемости зависит от множества факторов [9], но большинство моделей сосредоточены на временных и географических переменных. Однако, как показывает практика, поведение клиентов в определенные время и ценовой диапазон также значительно влияет на спрос на парковочные места.

Методология. Сбор данных

Анализ проводится в рамках сервиса платных парковок во Владивостоке. Плата за парковки взимается только в будние дни с 08:00 до 19:00. Тариф фиксированный: x руб. за 1 час.

Действующий в городе сервис позволяет фиксировать все парковочные сессии клиентов (дата и время начала и конца сессии, номер парковочной зоны, id клиента, начисленная сумма оплаты), регистрировать клиентов в системе и сохранять информацию о действующих парковочных зонах (номер парковочной зоны, координаты положения центра парковочной зоны, адрес зоны, число платных и бесплатных мест, цена одного часа, площадь зоны).

Для прогноза поступлений в модель данных помимо двух таблиц (парковочные сессии и парковочные зоны) были также добавлены данные: таблица с календарем, включая флаг рабочий день или выходной и праздничный день. Модель данных подробно описана в работе «Анализ данных сервиса платной парковки для создания эффективной системы ценообразования (на примере Владивостока)» [10].

В таблицу парковочных зон добавлена дополнительная характеристика: расстояние пешком до центра города в минутах, определенное с помощью поисково-информационной картографической службы «Яндекс-Карты». Для каждой зоны был построен маршрут до центра города и зафиксировано время пешком в минутах (При поиске по названию города Служба возвращает координаты его центра).

Построение модели

График распределения заполняемости в течение дня имеет форму колокола (см. Рис. 1) со смещенным вправо «хвостом».

Стоит уточнить, что заполняемость определяется как число активных сессий, деленные на число платных мест. Сессии активны на определенную

дату (d) в определенный момент времени (t), если для них одновременно верны следующие утверждения:

Дата и время начала сессии $\leq d + t$

Дата и время начала сессии $> d + t$

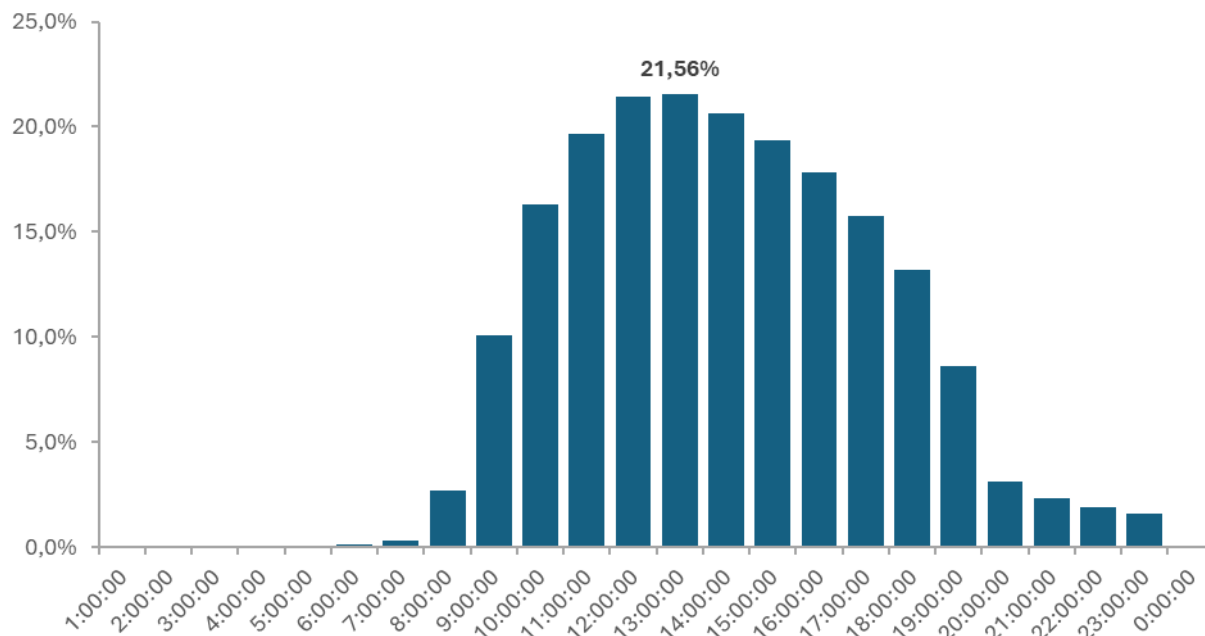


Рис. 1. Динамика заполняемости всех зон в течение дня 19.07.2024 (пятница)

В качестве зависимой переменной была взята заполняемость в час пик 13:00:00 (вершина колокола) каждой зоны (всего 31 шт.). В силу наличия колебаний в течение недели (особенно в предпраздничные дни) показатель был усреднен: в Модели используется средняя заполняемость в час пик (13:00) парковок в будние дни за период с июня по август 2024.

Данные не включают в себя характеристики каждого клиента (как и в данном случае на практике часто бывает так, что у менеджеров и исследователей нет доступа к данным клиентов в силу ограничений законодательства о персональных данных), что исключает возможность определить влияние дохода и выделить более или менее чувствительных к ценам клиентов, однако анализ продолжительности сессий и времени приезда клиента выявил некоторые особенности в поведении различных

групп клиентов. Так, утренние пользователи в основном используют парковочное место продолжительное время (см. Рис. 2) и, поэтому, чувствительны к цене, в то время как дневные и вечерние – стоят 1–2 часа и ориентируются в первую очередь на местоположение парковки.

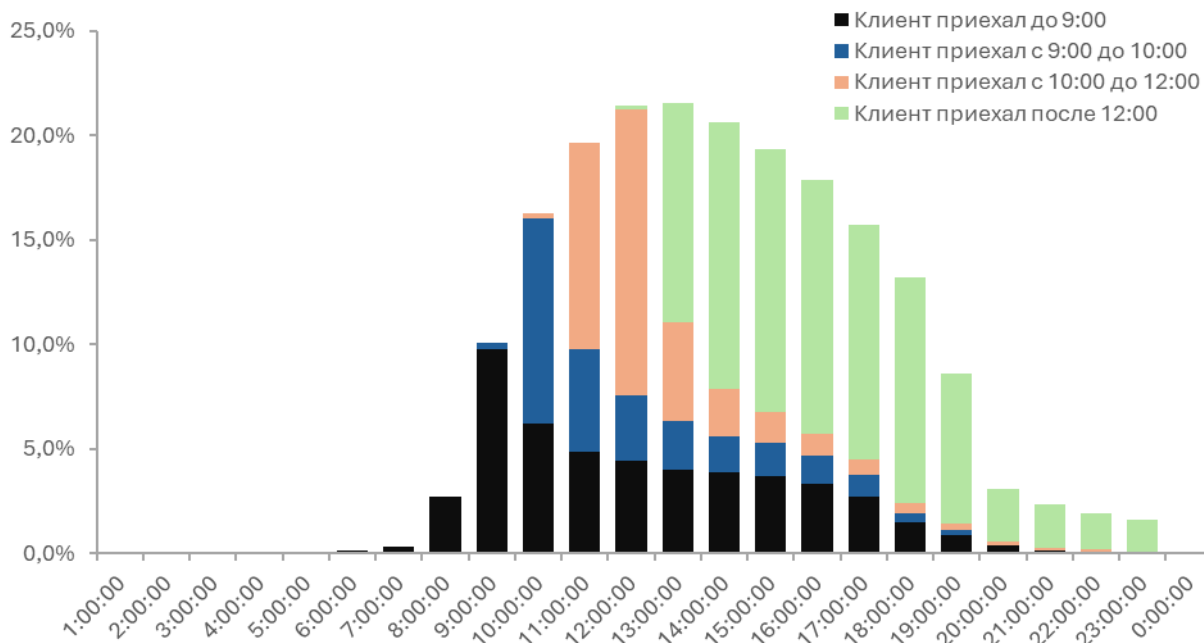


Рис. 2. Динамика заполняемости всех зон в течение дня 19.07.2024 (пятница) в разрезе групп клиентов

Поэтому было решено разделить зависимый показатель на два компонента, чтобы отделить чувствительных к ценам клиентов:

$$Y_i = Y_i^{\text{до } 10:00}(\max 100\%) + Y_i^{\text{после } 10:00}(\max 100\% - Y_i^{\text{до } 10:00}),$$

где $Y_i^{\text{до } 10:00}$ – средняя заполняемость в час пик (13:00) парковок в будние дни за период с июня по август 2024 пользователями, которые приехали до 10:00 i -ой зоны (в среднем их доля в 13:00 около 25-35% (см. Рис. 2);

$Y_i^{\text{после } 10:00}$ – пользователями, которые приехали после 10:00 i -ой зоны.

Независимые переменные следующие:

x_{1i} – ставка за час, руб. (50, 75, 100 и 150 руб.);

x_{2i} – флаг закрытая/открытая зона (1 – открытая; 0,0001 – закрытая: в силу ограничения логарифма: $x > 0$);

x_{3i} – расстояние пешком до центра, мин (описание выше);

x_{4i} – число платных мест на парковке, шт.

Стоимость проезда на автобусах, такси и поездах и связанные с ней переменные, такие как время в пути на автобусах, такси и железной дороге, не включены в эконометрическую модель, поскольку показатель время в пути до центра пешком косвенно включают эти переменные.

Для построения регрессионной модели использовалась множественная нелинейная регрессия:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_i^{\text{до } 10:00} &= e^{a_0} \cdot x_{1i}^{a_1} \cdot x_{2i}^{a_2} \cdot x_{3i}^{a_3} \cdot x_{4i}^{a_4} \\ &= e^{6,2524} \cdot x_{1i}^{-1,26} \cdot x_{2i}^{-0,2935} \cdot x_{3i}^{-0,5643} \cdot x_{4i}^{-0,748} \quad (R^2 = 86,1\%) \\ \hat{Y}_i^{\text{после } 10:00} &= x_{3i}^{a_3} \cdot x_{4i}^{a_4} = x_{3i}^{-0,4044} \cdot x_{4i}^{-0,2304} \quad (R^2 = 94,644\%)\end{aligned}$$

В рассматриваемой модели коэффициенты детерминации 86% и 97%, что указывает на хорошие прогнозные свойства уравнений. Оба уравнения статистически значимы. Все переменные в двух уравнениях являются значимыми, т. к. $|t_{a_i}| > t_{\text{крит}}$, что указывает на наличие зависимости между факторами и зависимой переменной.

На основе заполняемости парковочной зоны можно вычислить количество активных сессий:

$$N_i = (\hat{Y}_i^{\text{до } 10:00} + \hat{Y}_i^{\text{после } 10:00}) \cdot x_{4i}$$

Зная площадь «колокола», можно вычислить поступления в месяц:

$$S_i \cdot x_{1i} \cdot x_{4i} \cdot \text{число рабочих дней в месяце}$$

Площадь в данном случае определяется следующим образом: считается заполняемость зоны в каждый час в период с 8:00 до 19:00, полученные

значения делятся на заполняемость в час пик (13:00, т. е. вершину «колокола»). Сумма полученных значений (долей) – это коэффициент (в среднем около 800%–900% или 8,0–0,9), при умножении которого на заполняемость в час пик, получается площадь «колокола». Поскольку в рассматриваемом сервисе тариф фиксированный (х руб./час), перемножение полученной площади, тарифа в час и числа платных мест дает поступления в день (руб./день) от каждой зоны.

Результаты

Полученная модель позволяет спрогнозировать заполняемость в час пик (см. Рис. 3) и месячные поступления (см. Рис. 4) предлагаемых к вводу в эксплуатацию парковочных зон или зон, характеристики которых предлагается изменить (см. Табл. 1).

Таблица 1

Характеристики новых зон

| Парковочная зона | Флаг открытая/ закрытая | Расст-е пешком до центра, мин | Число мест | Ставка за час, руб | Средняя заполняемость факт |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| Океанский проспект | 1 | 36 | 8 (сокраще 85 мест) | 75 | - |
| Прапорщика Комарова | 1 | 11 | 22 | 100 | - |
| улица Лейтенанта Шмидта | 1 | 19 | 15 | 75 | - |
| ул. Всеволода Сибирцева | 1 | 19 | 100 | 75 | - |
| Зона 290 | 1 | 27 | 176 | 50 | 3,166% |

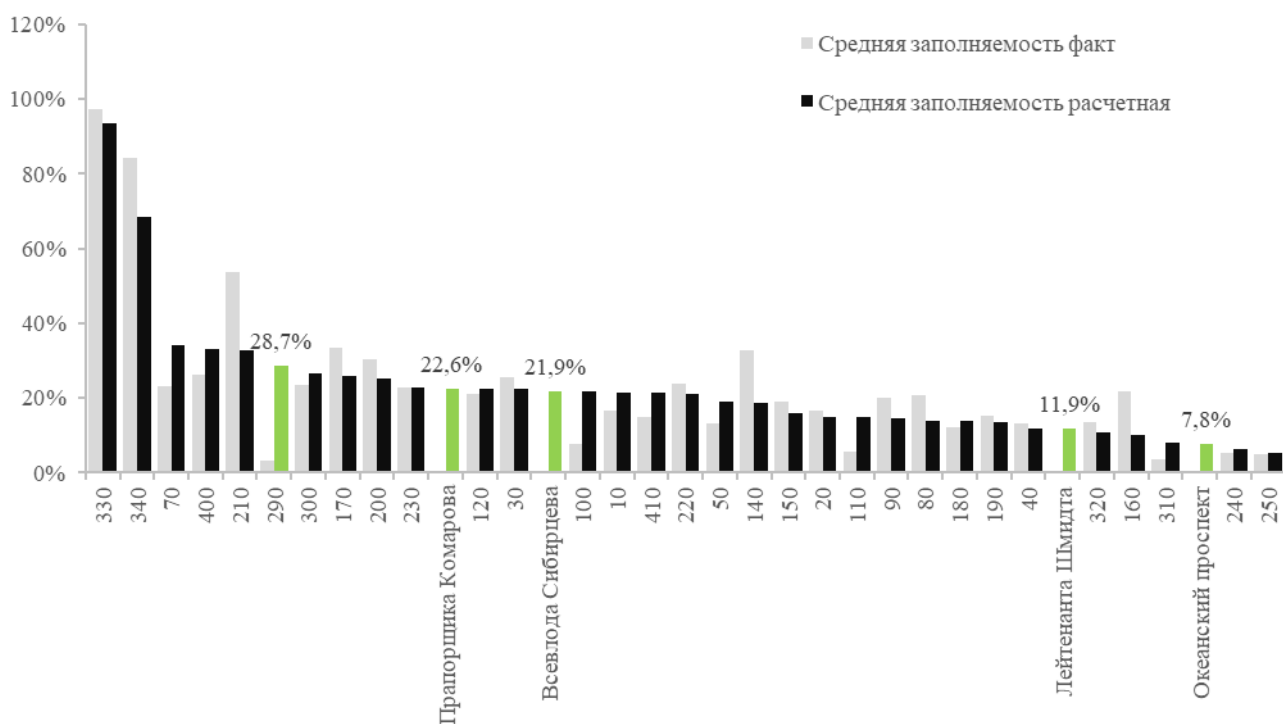


Рис. 3. Средняя загрузка в 13:00 июнь-август 2024 парковочных зон

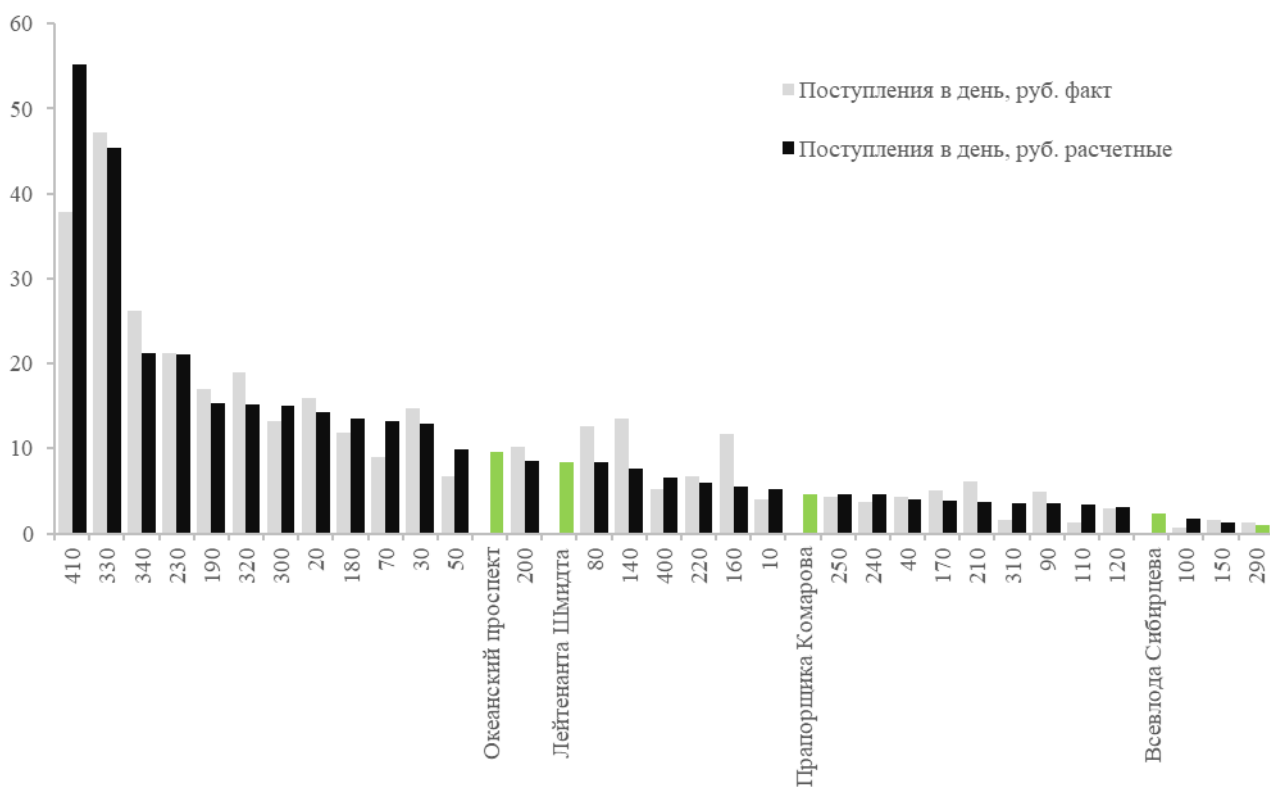


Рис. 4. Средние поступления в день, тыс. руб. (июнь-август 2024)

Обсуждения

Полученные результаты подчеркивают важность учета клиентского поведения при прогнозировании заполняемости. Выявленные зависимости могут служить основой для разработки новых стратегий по управлению парковочными ресурсами и адаптации ценовых моделей.

Разработанная модель может быть использована для максимизации поступлений от платной парковки коммерческими организациями или для максимизации заполняемости городскими властями.

В данном исследовании не были учтены все возможные факторы, такие, как мероприятия в городе, что может влиять на естественную заполняемость. В дальнейших работах рекомендуется включить дополнительные переменные, способные повысить точность прогноза. Модель подходит только для городов, поскольку не учитывает поток пассажиров и транспорта, а также не дает точные результаты при оценке конкретных дат (может быть критично для парковок возле стадионов, аэропортов, вокзалов и т.д.).

Заключение

Разработанная регрессионная модель позволяет точно прогнозировать заполняемость платных парковок с учетом различий в клиентском поведении.

Результаты оценки коэффициентов в модели показывают, что величина тарифа за час, время пешком до центра и число платных мест на парковке отрицательно влияют на заполняемость парковочной зоны. При этом утренние пользователи восприимчивы к цене за час, в то время как дневным клиентам цена безразлична (в разумных пределах) вопреки предположениям.

Результаты направлены на повышение эффективности управления парковочными ресурсами и могут быть полезны инвесторам, менеджерам и операторам платных парковочных пространств оптимизировать

инфраструктуру и условия с целью повышения общих коммерческих доходов и/или оборачиваемости. Описанная в статье методология может быть использована при моделировании аналогичных показателей, которые демонстрируют нормальное распределение, характерное для многих естественных процессов (клиентопоток в отделениях банка, пополнение и/или снятие средств в течение жизни пополняемых депозитов и т. п.).

Литература

1. Beckmann F. The 8 megatrends within the parking industry. URL: [linkedin.com/pulse/8-megatrends-within-parking-industry-frank-beckmann/](https://www.linkedin.com/pulse/8-megatrends-within-parking-industry-frank-beckmann/).
2. Graham P. Boosting non-aeronautical revenues. URL: passengerterminaltoday.com/features/boosting-non-aeronautical-revenues.html.
3. Allocation of parking demand in a CBD. URL: trid.trb.org/View/116002.
4. Mantecchini L. Optimization of airport parking facilities size, location and connection. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. 10. P. 753-758.
5. Budd L., Ison S., Budd T. An empirical examination of the growing phenomenon of off-site residential car parking provision: the situation at UK airports. Transportation Research Part A Policy and Practice. 2013. 54. P. 26-34.
6. Zoeter O., Dance C., Clinchant S., Andreoli J.-M. New Algorithms for Parking Demand Management and a City-Scale Deployment. KDD '14: Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2014. 14. pp. 1819–1828.
7. Ernico S., Boudreau B., Reimer D., Van Beek S. Considering and evaluating airport privatization. Airport cooperative research program

- (ACRP) report 66. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, The National Academies Press. 2012. 66. 113 p.
8. Корягин М.Е., Вылегжанин И.А. Равновесие Нэша при выделении площадей для организации платных и бесплатных парковок с учетом интересов автомобилистов, городских властей и владельцев парковок. Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2022. 16. С. 36–43. URL: doi.org/10.36724/2072-8735-2022-16-7-36-43.
 9. Manuela S., Friesen M. Determinants of car parking revenues: An econometric analysis of large European airports. Journal of Air Transport Management. 2025. № 122. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699724001558.
 10. Ерёмин И.Р., Никитин П.В. Анализ данных сервиса платной парковки для создания эффективной системы ценообразования для умного города (на примере Владивостока). Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. № 12. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1585.

References

1. Beckmann F. The 8 megatrends within the parking industry. URL: linkedin.com/pulse/8-megatrends-within-parking-industry-frank-beckmann/.
2. Graham P. Boosting non-aeronautical revenues. URL: passengerterminaltoday.com/features/boosting-non-aeronautical-revenues.html.
3. Allocation of parking demand in a CBD. URL: trid.trb.org/View/116002.
4. Mantecchini L. Optimization of airport parking facilities size, location and connection. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. 10. P. 753-758.



5. Budd L., Ison S., Budd T. An empirical examination of the growing phenomenon of off-site residential car parking provision: the situation at UK airports. *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2013. 54. P. 26-34.
6. Zoeter O., Dance C., Clinchant S., Andreoli J.-M. New Algorithms for Parking Demand Management and a City-Scale Deployment. *KDD '14: Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. 2014. 14. P. 1819–1828.
7. Ernico S., Boudreau B., Reimer D., Van Beek S. Considering and evaluating airport privatization. *Airport cooperative research program (ACRP) report 66*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, The National Academies Press. 2012. 66. 113 p.
8. Koryagin M.E., Vylegzhanin I.A. T-Comm – Telekommunikatsii i Transport. 2022. №16. pp. 36–43. URL: doi.org/10.36724/2072-8735-2022-16-7-36-43.
9. Manuela S., Friesen M. Determinants of car parking revenues: An econometric analysis of large European airports. *Journal of Air Transport Management*. 2025. № 122. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699724001558.
10. Eremin I.R., Nikitin P.V. Analiz dannykh servisa platnoy parkovki dlya sozdaniya effektivnoy sistemy tsenoobrazovaniya dlya umnogo goroda (na primere Vladivostoka). *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii*. 2024. №12. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1585.

Дата поступления: 24.11.2024

Дата публикации: 2.01.2025