

На правах рукописи



Алхуссейни Сами

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ СПРОСА НА ПЕРЕВОЗКИ
ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ ИЗ ОПЕРАЦИЙ
ВАЛИДАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕЗДНЫХ БИЛЕТОВ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель**Фадеев Александр Иванович**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Транспорта ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск)

Официальные оппоненты:**Горев Андрей Эдливич**

доктор экономических наук, профессор Высшей школы транспорта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург)

Колганов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск)

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» (г. Оренбург).

Защита состоится «24» декабря 2024 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета ИРНТУ.05.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «К», конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и на официальном сайте: <https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/dissertatsii/elementy/>

Отзывы на автореферат (два экземпляра, заверенные в установленном порядке) направлять в адрес диссертационного совета ИРНТУ.05.01:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, каб. К-115;

e-mail: ds.05.01@istu.edu; телефон: **8-(3952) 40-56-89**; факс: **8-(3952) 40-51-00**

Автореферат разослан: «01» ноября 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Яньков Олег Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Баланс спроса и предложения без излишнего объема инфраструктуры – это одно из основных условий устойчивости общественного транспорта, обеспечивающего экономичное, безопасное, надежное, экологически чистое и качественное удовлетворение мобильности населения: доступ к месту работы, учебы, товарам, услугам, социальным и культурно-бытовым объектам. Реализация данной концепции требует решения задачи мониторинга транспортного спроса, т.е. формирования системы постоянного наблюдения за мобильностью населения, результаты которого обеспечивают обоснованные управленческие решения по формированию оптимального транспортного предложения.

Существующие методы определения пассажирских потоков городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП) вследствие их трудоемкости и ограниченной эффективности не позволяют осуществлять мониторинг транспортного спроса. В настоящее время для создания эффективных решений (в том числе на ГПТОП) используются технологии, основанные на сборе, интеграции и анализе больших данных (*Urban computing, Big data, Internet of things*).

В рамках данного подхода актуальной является задача определения (восстановления) корреспонденций пассажиров ГПТОП посредством анализа операций валидаций электронных проездных билетов (ЭлПБ, *Electronic Travel Tickets*): смарт-карт (*smart card*), транспортных карт, магнитных карт, мобильных телефонов и других электронных устройств (*Electronic Gadgets*), реквизиты которых фиксируются в автоматизированной системе оплаты проезда *Automated Fare Collection (AFC)*. Информация, формируемая в AFC, представляет существенный интерес для решения задач планирования работы транспорта, поскольку позволяет рассчитывать спрос ГПТОП, т.е. потребность населения в передвижениях.

Методы анализа операций валидации ЭлПБ обеспечивают получение маршрутных корреспонденций пассажиров. Особую проблему представляет формирование из маршрутных поездок сетевых корреспонденций, т.е. поездок пассажиров между пунктами отправления и назначения, которые могут быть прямыми или с пересадками. Существующие методы определения таких корреспонденций основаны на критериях пересадки, которыми являются время и расстояние пешеходной доступности (РПД). При этом не учитываются случаи, когда пассажир на остановочных пунктах (ОП), удовлетворяющих критериям пересадки, решает определенные задачи, составляющие цель посещения данного ОП (поездки курьера – это перемещение из одной точки в другую для доставки или получения груза, документов или выполнения любой другой задачи). Данные поездки не могут быть объединены в сетевую корреспонденцию, поскольку каждый из промежуточных ОП является целью перемещения пассажира-курьера.

Недостаток знаний о транспортном спросе затрудняет эффективное и качественное обеспечение мобильности населения. Решение задачи мониторинга транспортного спроса – это важное условие устойчивого развития ГПТОП – одного из наиболее эффективных направлений надежного удовлетворения мобильности населения при ограниченных ресурсах и минимальном отрицательном влиянии на окружающую среду.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы совершенствования методов прогнозирования транспортного спроса рассматривались во многих отечественных и зарубежных исследованиях. В решение проблемы формирования эффективных систем ГПТОП значительный вклад внесли: Л.Л. Афанасьев, А.П. Артынов, Г.А. Варелопуло, П.П. Володькин, Б.Л. Геронимус, И.М. Головных, В.А. Гудков, Г.А. Гуревич, А.Э. Горев, В.Н. Ембулаев, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Д.Б. Ефименко, И.С. Ефремов, А.Х. Зильберталь, В.А. Корчагин, Е.А. Кравченко, М.Е. Корягин, В.М. Курганов, О.Н. Ларин, Л.Б. Миротин, А.Ю. Михайлов, И.В. Спирин, А.И. Фадеев, М.Р. Якимов и другие.

Задача определения корреспонденций пассажиров из AFC рассматривалась в работах иностранных ученых: Alsger A. A., Bagchi M., Barry J. J., Chu A., Cui A., Dazi S., Devillaine F., Farzin J. M., Gokasar I., Gordon J., Hickman M., Hofmann M., Hora J., Jang W., Lee S., Mahrsi M., Mesbah M., Munizaga M. A., Nagy V., Nassir N., Palma C., Seaborn C., Tao S., Tian li, Trepanier M., Tyrinopoulos Y., Venugopal S., Wang W., White P. R., Zhang L., Zhao Z., Zhou J.

Целью работы является повышение эффективности и качества проектирования транспортного предложения городского пассажирского транспорта общего пользования на основе совершенствования методов оценки транспортного спроса.

Объектом исследования является спрос на перевозки наземным городским пассажирским транспортом общего пользования.

Предмет исследования - методы оценки транспортного спроса на основе операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными автоматизированной системы диспетчерского управления пассажирского транспорта общего пользования.

Рабочая гипотеза заключается в том, что путем совершенствования методов определения транспортного спроса можно существенно повысить эффективность проектирования предложения наземного пассажирского транспорта общего пользования и тем самым обеспечить надежное удовлетворение мобильности населения при ограниченных ресурсах и наименьшем отрицательном влиянии на окружающую среду.

Задачи исследования

1. Теоретически обосновать метод определения пассажирских корреспонденций из операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными автоматизированной системы диспетчерского управления городского пассажирского транспорта общего пользования.

2. Научно обосновать и апробировать методику оценки достоверности определения спроса городского пассажирского транспорта общего пользования из данных валидации электронных проездных билетов.

3. На основе выявленных критериев поездок курьера и установленных условий определения пересадки разработать методику расчета сетевых пассажирских корреспонденций.

4. Разработать методику мониторинга спроса городского пассажирского транспорта общего пользования, основанную на анализе операций валидации электронных проездных билетов.

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач использовались методы системного подхода и исследований операций, математической статистики, теории вероятностей, математического моделирования и анализа, математического программирования и численных расчетов, реляционной алгебры и реляционной теории данных, программирования на языках высокого уровня, экспериментальных исследований с использованием систем глобального позиционирования ГЛОНАСС/GPS и систем анализа больших данных.

Научная новизна, теоретическая значимость исследования:

1. Выявлена зависимость пассажирских корреспонденций от параметров операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными системы диспетчерского управления городским наземным пассажирским транспортом общего пользования, обеспечивающая расчет транспортного спроса из допустимых вариантов пассажирских поездок с применением критерия, формируемого из вектора оценочных показателей;

2. Научно обоснована методика оценки достоверности спроса городского пассажирского транспорта общего пользования, определенного из операций валидации электронных проездных билетов, базирующаяся на оценке распределения по длине маршрута теоретических и экспериментальных пассажирских корреспонденций;

3. Выявлены закономерности формирования сетевых пассажирских корреспонденций, разработаны и апробированы на этой основе критерии определения передвижений курьера, обеспечивающие корректное определение транспортного спроса.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут использоваться перевозчиками пассажиров, операторами управления и контроля движения пассажирского транспорта, а также муниципальными органами власти для решения следующих задач:

- формирование транспортного предложения, обеспечивающего заданные параметры эффективности и качества транспортного обслуживания населения с учетом динамики транспортного спроса, технологических нормативов и экономических показателей транспортного процесса;

- создание системы мониторинга пассажирских потоков за счет использования математических моделей и методов определения спроса на ГПТОП путем анализа операций валидации ЭлПБ.

Преподавателям технических ВУЗов транспортных специальностей теоретические положения и результаты их практического применения позволят повысить качество подготовки специалистов по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Реализация результатов исследований осуществлена в системе организации и управления пассажирским транспортом общего пользования г. Красноярска. Разработано программное обеспечение, посредством которого проведены расчеты транспортного спроса на операциях валидации электронных проездных билетов ГПТОП г. Красноярска, результаты которых используются при решении задач совершенствования функционирования ГПТОП г. Красноярска (подтверждено актами внедрения, выданными департаментом городского хозяйства и транспорта администрации города Красноярска, департаментом градостроительства администрации города Красноярска, муниципальным казенным учреждением города Красноярска «Красноярскгортранс»).

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры транспорта СФУ магистров и бакалавров направления «Технология транспортных процессов».

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретически обоснованная методика расчета спроса на ГПТОП, основанная на определении и оценке множества допустимых вариантов следования пассажирских поездок посредством критерия, формируемого из вектора оценочных показателей, позволяет рассчитывать параметры пассажирских корреспонденций с учетом факторов, оказывающих влияние на выбор пассажиром маршрутов поездок;

2. Применение разработанной методики расчета спроса на ГПТОП из операций валидации электронных проездных билетов обеспечивает мониторинг пассажирских потоков, технико-эксплуатационных показателей функционирования ГПТОП, и таким образом позволяет реализовать концепцию устойчивого развития ГПТОП посредством проектирования транспортного предложения, соответствующего спросу;

3. Оценка достоверности спроса ГПТОП, выполненная по разработанной методике с использованием выборочного автоматизированного учета пассажиров, подтверждает статистическое соответствие выборочной совокупности маршрутных и сетевых пассажирских корреспонденций, полученных из валидаций электронных проездных билетов, пассажирским потокам ГПТОП в пределах допустимых погрешностей;

4. Разработанные и практически апробированные критерии определения поездок курьера обеспечивают корректность расчета сетевых пассажирских корреспонденций.

Достоверность результатов подтверждается: корректностью математического обоснования проведенных исследований и системным подходом к решению задач; использованием методов реляционной алгебры и реляционной модели данных; применением обработки статистических данных с использованием репрезентативных объемов выборок и контроля

выбросов в выборках; тестированием разработанных моделей в реальных транспортных системах, функционирующих под контролем спутниковой системы навигации (СпСН) ГЛОНАСС/GPS; статистическим контролем сходимости экспериментальных исследований и реальных процессов.

Теоретические основы построены на проверяемых данных и фактах, согласуются с публикациями по теме диссертации.

Апробация результатов работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: X Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 2018 г.); III Молодежной международной научно-практической конференции «Молодежный научный потенциал XXI века: ступени познания» (г. Новосибирск, 2018 г.); 106-ой Международной научно-технической конференции «Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2019 г.); Всероссийской очно-заочной практической конференции «Транспортная логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения» (г. Красноярск, 2022 г.); Международном конкурсе научно-исследовательских работ «Инновационные научные исследования в современном мире» (г. Уфа, 2022 г.); Международной научно-практической конференции (гибридной) «Четвертая промышленная революция и инновационные технологии» (г. Гянджа, респ. Азербайджан, 2022 г.); XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны Свободный – 2023» (г. Красноярск, 2023 г.); 116-ой Международной научно-технической конференции «Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Улан-Удэ, 2023 г.); IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Борисовские Чтения» (г. Красноярск, 2023 г.); Международной научно-практической конференции (гибридной) «Современное состояние и перспективы развития науки и технологий в период четвертой промышленной революции» (г. Гянджа, респ. Азербайджан, 2024 г.).

Личный вклад автора заключается в формировании концепции и цели работы; постановке задач и их решении; подготовке теоретических и методологических положений научной новизны исследования, разработанных с применением новых методов, моделей и подходов к решению задач, сформулированных в диссертации.

Публикации. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 17 научных работах: 4 статья в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ и 7 публикациях в изданиях, индексируемых в системах Scopus и WOS, 1 свидетельстве об государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают направлениям исследований паспорта специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, определенных п.п. 2 и 3.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка 147 использованных источников. Изложена на 110 страницах машинописного текста, включает 20 рисунков и 16 таблиц. Содержит 3 приложения на 35 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, представлены цель, задачи, рабочая гипотеза, объект и предмет исследования, научная новизна, практическая значимость, основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор современного состояния методов определения транспортной подвижности городского населения, теории и практики расчета пассажирских корреспонденций общественного транспорта путем интеллектуального анализа валидаций электронных проездных билетов, фиксируемых в автоматизированной системе оплаты проезда

Automated Fare Collection (AFC) и интегрированных с данными системы диспетчерского управления общественным транспортом.

Массив операций валидации электронных проездных билетов является перспективным источником информации о спросе на общественный транспорт, что подтверждается существенным интересом ученых к этой проблеме в настоящее время. Информация систем оплаты проезда посредством смарт-карт обеспечивает определение пассажирских корреспонденций без применения дорогостоящих процедур анкетирования пассажиров, поскольку начальный пункт поездки фиксируется в системе оплаты проезда, а конечный пункт можно рассчитать посредством интеллектуального анализа операций валидации электронных проездных билетов.

В результате анализа выполненных исследований, связанных с мониторингом транспортного спроса посредством валидации смарт-карт, выявлены серьезные недостатки разработанных алгоритмов расчета пассажирских корреспонденций. Наиболее существенные из них:

- вызывает критику гипотеза определения места посадки: остановочный пункт, предыдущий операции валидации – в реальной жизни пассажир может проехать несколько остановок, а уже потом расплатиться за проезд; в некоторых случаях применяется схема оплаты проезда в конце поездки;
- отсутствует порядок обработки поездок пассажира, в которых не применяется электронный проездной билет; в результате образуются пропуски в цепочке интерпретированных поездок пассажира;
- отсутствует порядок формирования сетевых корреспонденций, в котором учитываются случаи, когда между двумя поездками пассажир за короткое время выполняет действия, являющиеся целью поездки (поездки курьера); в существующих алгоритмах такие поездки интерпретируются как поездки с пересадкой;
- нет методики оценки соответствия корреспонденций, полученных из операции валидации электронных билетов, генеральной совокупности пассажирских корреспонденций транспортного спроса;
- не разработан порядок расчета параметров транспортного предложения на основании пассажирских корреспонденций из операций валидации электронных билетов;
- не определен порядок расчета матриц транспортного спроса с учетом нераспознанных валидаций электронных билетов.

Вторая глава посвящена разработанным теоретическим положениям расчета корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидации электронных проездных билетов.

Имеется **транспортная сеть** – совокупность взаимосвязанных узлов, расположенных на УДС: $G = (W, E)$, где W - конечное непустое множество вершин $w \subset W$; E - множество связей (дуг или ребер) между вершинами $(u, w) \in E$; $u \neq w$. На графе G определено множество **допустимых маршрутов** M ; $m = \{w_1, \dots, w_i, \dots, w_t\}$; $m \subset M$; $|M| = \eta$. Пара соседних вершин w_i, w_{i+1} связана дугой $e_{w_i, w_{i+1}}$ графа G .

Маршруты подразделяются по видам транспорта $M = \{M^T\}$, например: автобус, трамвай, троллейбус. Каждый маршрут описывается двумя последовательностями пунктов его траектории в зависимости от направления движения $k = \{a, b\}$ (где a, b – прямое и обратное направление соответственно)

$$M = \{M^k: k = a, b\}; M \subset M; |M| = m; \quad (1)$$

$$M^k = \{w_1, \dots, w_i, \dots, w_t\}; M^k \subset M; w_i \subset W, \quad (2)$$

Необходимо определить множество маршрутных (P) и сетевых (H) пассажирских корреспонденций, выполненных по электронному проездному билету. Маршрутная корреспонденция пассажира включает упорядоченный перечень остановочных пунктов:

$$p_k = \{w_1^k, w_2^k, \dots\} \quad (3)$$

Поездка пассажира (сетевая пассажирская корреспонденция) состоит из одного или нескольких маршрутных сегментов (маршрутных пассажирских корреспонденций):

$$H_s = \{p_1^s, \dots, p_n^s\}, n \geq 1 \quad (4)$$

Пассажирская корреспонденция осуществляется без пересадки, если поездка состоит из одного маршрутного сегмента: $n = 1$ в выражении (4). При $n > 1$ пассажир осуществляет $n - 1$ пересадку.

В AFC фиксируется время выполнения k -й операции валидации электронного проездного билета e_k , а также маршрут и транспортное средство, посредством которого осуществлена перевозка. Имеется последовательность операций валидации электронного билета $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k, \dots\}$, каждый элемент которой отражает поездку (маршрутную корреспонденцию) пассажира p_k k -м рейсом.

В рейсе остановочный пункт начала поездки расположен перед точкой, в которой произведена операция валидации проездного билета, а пункт завершения поездки – после точки валидации электронного билета (см. рис. 1). Обозначим множество остановочных пунктов W_k^- , расположенных в k -м рейсе до операции валидации электронного билета, и W_k^+ – после операции валидации, $W_k^- \subset W$; $W_k^+ \subset W$. Таким образом, остановочный пункт начала пассажирской корреспонденции – это элемент множества W_k^- , а завершения – W_k^+ .

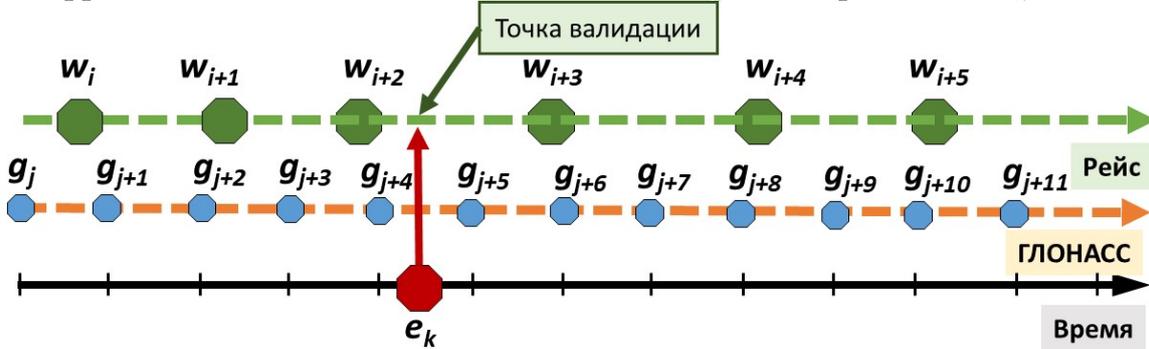


Рис. 1. Расчетная схема маршрутной пассажирской корреспонденции:

w_i, w_{i+1}, \dots – остановочные пункты рейса; g_i, g_{i+1}, \dots – навигационные отметки системы спутникового позиционирования; e_k – валидация электронного проездного билета

Для определения точки валидации электронного билета и остановочных пунктов рейса используются навигационные отметки спутникового позиционирования подвижного состава, в которых содержатся следующие данные, необходимые для решения рассматриваемой задачи: транспортное средство, скорость движения, время и координаты (широта, долгота; Latitude and Longitude) навигационной отметки.

Прохождение через остановочный пункт фиксируется по навигационным отметкам в его зоне, задаваемой радиусом, размер которого выбирается таким образом, чтобы компенсировать возможные ошибки координат и погрешности системы спутникового позиционирования. Траектория движения транспортных средств описывается следующим образом:

$$R = G \times M = \{(g, w): g \in G, w \in M, l(g, w) \leq l_w\}, \quad (5)$$

где: $l(g, w)$ – расстояние между навигационной отметкой (g) и остановочным пунктом (w);

l_w – радиус зоны остановочного пункта.

В отличие от опубликованных алгоритмов в настоящей работе для расчета пассажирских корреспонденций применен подход, основанный на множестве допустимых вариантов X_{k+1}^k завершения k -й и начала $k+1$ -й пассажирской корреспонденции (см. рис. 2), которое формируется:

$$X_{k+1}^k = W_k^+ \times W_{k+1}^-; l(w_{kj}^+, w_{k+1i}^-) < L_p; w_{kj}^+ \subset W_k^+; w_{k+1i}^- \subset W_{k+1}^- \quad (6)$$

где: $l(w_{kj}^+, w_{k+1i}^-)$ – евклидово расстояние между остановочными пунктами w_{ki}^+ и w_{k+1i}^- ; L_p – расстояние пешеходной доступности.

Возможные варианты k -й пассажирской корреспонденции – это декартово произведение множеств X_k^{k-1} и X_{k+1}^k . В результирующем множестве требуется определить элемент, который соответствует реальной поездке пассажира. Для этого оценивается связанность предыдущей и последующей поездок X_{k+1}^k J критериями $y_1 = f_1(x), \dots, y_J = f_J(x)$, составляющими вектор оценок. Z_i – шкала (множество значений) критерия f_i . Будем считать, что критерии ориентированы положительно, т.е. с ростом значений каждого критерия предпочтения возрастают.

В рассматриваемой задаче для оценки элементов множества X_{k+1}^k применяются следующие показатели:

- евклидово расстояние между остановочными пунктами завершения предыдущей и начала следующей поездок (расстояние пешеходной доступности);
- номер остановочного пункта от операции валидации (считается, что чем ближе остановочный пункт рейса к операции валидации электронного билета, тем выше вероятность начала пассажирской корреспонденции с этого пункта; в большинстве случаев пассажир оплачивает проезд сразу же после посадки в транспортное средство);
- частота использования остановочного пункта пассажиром (у пассажира имеются явно выраженные места притяжения, например: дом, работа и т.д.).

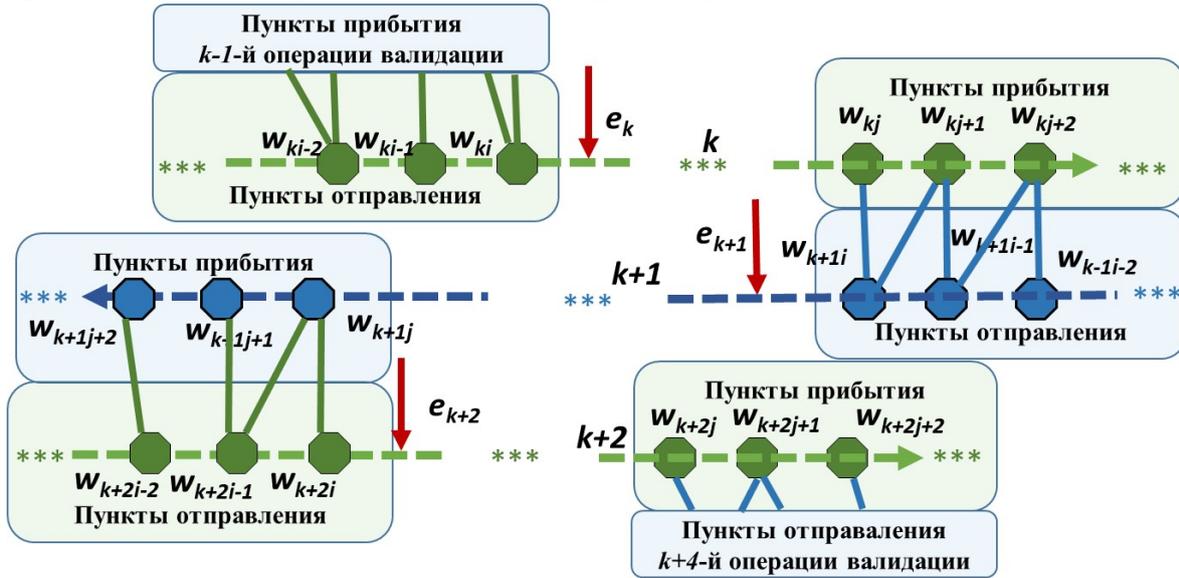


Рис. 2. Схема формирования вариантов пассажирских корреспонденций электронного проездного билета

Для решения задачи выбора векторный критерий агрегируется посредством аддитивной свертки.

В общем случае критерии могут иметь разные шкалы (например, в нашем случае по-разному измеряется расстояние пешего перемещения и номер остановочного пункта от операции валидации). Критерии следует привести к сопоставимому виду, т.е. нормализовать. Нормализованные критерии безразмерны, их значения, как правило, находятся в одинаковых пределах, например, от 0 до 1.

Функции нормализации используемых показателей:

- расстояние между остановочными пунктами завершения предыдущей и начала следующей поездок

$$\varphi(l_i^p) = 1 - \frac{l_i^p}{2L_p}, l_i^p \leq 2L_p; \quad (7)$$

б) номер остановочного пункта от операции валидации

$$\varphi(n_i^e) = 1 - \frac{n_i^e}{n^{e*}}, n_i^e \leq n^{e*}; \quad (8)$$

в) частота использования остановочного пункта (место притяжения пассажира)

$$\varphi(w_i) = \frac{n_i^w}{n^{w*}}, \quad (9)$$

где: n^{e*} – наибольший номер остановочного пункта от операции валидации; для остановочных пунктов, номер которых больше n^{e*} , критерий (8) принимает нулевое значение;

n_i^w, n^{w*} – число операций с i -м остановочным пунктом к общему числу операций валидации электронного билета.

Таким образом, имеется I вариантов X_{k+1}^k связанности k -й и $k+1$ -й пассажирской корреспонденции. Предпочтительным является вариант, имеющий наибольшее значение агрегированного критерия:

$$K^{\Sigma} = v_l \varphi(l_i^p) + v_n \varphi(n_i^e) + v_w \varphi(w_i) \Rightarrow \max, \quad (10)$$

где: v_l, v_n, v_w – веса критериев (7), (8), (9).

Определение весов критериев v_l, v_n, v_w осуществляется следующим образом. Очевидно, что результирующее множество должно соответствовать генеральной совокупности поездок пассажиров на общественном транспорте. Для оценки генеральной совокупности будем применять параметры $y_i, i = \overline{1, z}$, которые можно определить (измерить) с достаточной точностью. $f_i(v_l, v_n, v_w), i = \overline{1, z}$ функция расчета i -го параметра из пассажирских корреспонденций валидаций электронных проездных билетов. В соответствии с методом наименьших квадратов:

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i [y_i - f_i(v_l, v_n, v_w)]^2 \Rightarrow \min. \quad (11)$$

Необходимо определить минимум функции (11) по переменным весовых коэффициентов v_l, v_n, v_w . Для решения данной задачи нахождения безусловного экстремума функции нескольких переменных применяются численные методы, например, покоординатного спуска, градиента, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов и т.д.

Разработанный алгоритм расчета пассажирских корреспонденций электронного проездного билета состоит из следующих этапов:

1. Формирование траектории движения транспортных средств.
2. Расчет допустимых вариантов цепочки поездок.
3. Расчет маршрутных пассажирских корреспонденций.
4. Расчет коэффициентов балансировки.
5. Расчет сетевых пассажирских корреспонденций.

Формирование траектории движения транспортных средств осуществляется из навигационных отметок системы спутниковой навигации в соответствии с выражением (5). Полученная траектория движения транспортных средств описывается следующим реляционным отношением:

$$R(A, T, W, M^r, M^k, M^i), \quad (12)$$

где: T – время навигационной отметки;

A – транспортное средство;

M^r, M^k – номер маршрута и направление движения соответственно;

W – остановочный пункт;

M^i – номер остановочного пункта в рейсе.

Расчет допустимых вариантов X_{k+1}^k завершения текущей (k -й) поездки с пунктами начала следующей ($k+1$ -й) поездки, который заключается в следующем: Во-первых, опреде-

ление ближайшего остановочного пункта w_{k1}^- ($w_{k1}^- \subset W_k^-$), расположенного перед точкой валидации проездного билета e_k , и первого остановочного пункта после данной точки w_{k1}^+ ($w_{k1}^+ \subset W_k^+$):

$$\min(r_a \cdot t); r_a \cdot t \geq e_k \cdot t; r_a \subset R_a \quad (13)$$

$$\max(r_a \cdot t); r_a \cdot t \leq e_k \cdot t; r_a \subset R_a \quad (14)$$

где: r_a – кортеж отношения фактической траектории движения a -го транспортного средства R_a ;

$e_k \cdot t$ – время выполнения k -й операции валидации.

Во-вторых, в соответствии с выражением (6) формируется множество допустимых вариантов X_{k+1}^k завершения текущей (k -й) поездки с пунктами начала следующей ($k+1$ -й) поездки:

$$X(I^x, I_k^v, W_k, M_k^i, M_k^v, I_{k+1}^v, W_{k+1}, M_{k+1}^i, M_{k+1}^v, L^p), \quad (15)$$

где: I^x – идентификатор варианта;

I_k^v, I_{k+1}^v – идентификатор k -й и $k+1$ -й операции валидации соответственно;

W_k, W_{k+1} – идентификатор остановочного пункта k -й и $k+1$ -й операции валидации соответственно;

M_k^i, M_{k+1}^i – номер остановочного пункта в рейсе по маршруту k -й и $k+1$ -й операции валидации соответственно;

M_k^v – номер ближайшего остановочного пункта, расположенного в маршруте после k -й операции валидации;

M_{k+1}^v – номер ближайшего остановочного пункта, расположенного в маршруте перед $k+1$ -й операцией валидации;

L^p – евклидово расстояние между пунктами W_k, W_{k+1} .

Для каждого элемента множества X_{k+1}^k рассчитываются значения оценочных критериев в соответствии с выражениями (7), (8) и (9):

$$\Phi(I, \Phi^l, \Phi^n, \Phi^w), \quad (16)$$

где: Φ^l, Φ^n, Φ^w – значение соответствующего оценочного критерия: расстояния пешеходной доступности, номера остановочного пункта от операции валидации и удельного веса использования остановочного пункта пассажиром.

Расчет маршрутных пассажирских корреспонденций. В соответствии с выражением (10) для каждого элемента множества X_{k+1}^k рассчитывается агрегированный критерий и по его наибольшему значению выбирается пункт завершения k -й и пункт начала $k+1$ -й поездок пассажира.

В результате формируются маршрутные пассажирские корреспонденции электронного билета:

$$P(I^v, M^r, M^k, W^a, T^a, W^d, T^d, L), \quad (17)$$

где: I^v – идентификатор операции валидации;

M^r, M^k – номер маршрута и направление движения соответственно;

W^a, W^d – идентификатор остановочного пункта начала и завершения пассажирской корреспонденции соответственно;

T^a, T^d – время начала и завершения пассажирской корреспонденции соответственно;

L – длина корреспонденции.

Расчет коэффициентов балансировки для учета неинтерпретированных операций валидации электронного билета, возникающих при выполнении пассажиром поездок, которые не фиксируются в операциях валидации электронного билета, например, такси. В этом случае цепочка поездок по электронному билету прерывается, в результате по некоторым операциям валидации не удается определить поездки, операции остаются неинтерпретированными. При расчете транспортного спроса такие операции учитываются посредством коэффициентов балансировки:

$$\phi_k = \phi'_k + \frac{1}{n^a}, \text{ если } n^a < n^d, l(e_k, p_k \cdot i^a) \leq L_p, \quad (18)$$

$$\phi_k = \phi'_k + \frac{1}{n^d}, \text{ если } n^a < n^d, l(e_k, p_k \cdot i^d) \leq L_p, \quad (19)$$

$$\left(\begin{array}{l} \phi_k = \phi'_k + \frac{1}{2n^a}, \text{ если } n^a = n^d, l(e_k, p_k \cdot i^a) \leq L_p \\ \phi_k = \phi'_k + \frac{1}{2n^d}, \text{ если } n^a = n^d, l(e_k, p_k \cdot i^d) \leq L_p \end{array} \right), \quad (20)$$

если $n^a \neq 0$ и $n^d \neq 0$,

где: ϕ'_k – текущее значение коэффициента балансировки k -й корреспонденции электронного билета (в начале расчета $\phi'_k = 1$);

n^a – количество корреспонденций электронного билета с начальным пунктом на расстоянии пешеходной доступности от e_k ;

n^d – количество корреспонденций электронного билета с конечным пунктом на расстоянии пешеходной доступности от e_k ;

$l(e_k, p_k \cdot i^a)$ расстояние между остановочными пунктами e_k и $p_k \cdot i^a$ (евклидова длина прямой между остановочными пунктами).

В соответствии с выражениями (18) – (20) каждая неинтерпретированная валидация балансируется через интерпретированные операции транспортного района следующим образом:

число отправлений увеличивается на 1, если прибытий n^a больше, чем отправлений n^d ;

если прибытий меньше, чем отправлений – на 1 увеличивается число прибытий;

если $n^a = n^d$, число отправлений и прибытий увеличивается на 0,5.

Для случаев $n^a = 0$ или $n^d = 0$ коэффициент балансировки рассчитывается в рамках маршрута посредством соответствующей корректировки удельного веса поездок по электронным проездным билетам.

Расчет сетевых пассажирских корреспонденций осуществляется на основании упорядоченной по времени цепочки маршрутных корреспонденций (рис. 3). Применяется следующий алгоритм расчета.

Имеется упорядоченная последовательность маршрутных корреспонденций пассажира: $\{p_1, p_2, \dots, p_j, p_{j+1}, \dots\}$. Объединяя последовательные корреспонденции по условиям пересадочности, получаем множество сетевых корреспонденций H , каждый элемент которого представляет собой одну или несколько маршрутных корреспонденций.

Условия пересадочности:

а) расстояние между пунктами завершения предыдущей маршрутной корреспонденции ($p_j \cdot w^d$) и началом следующей ($p_{j+1} \cdot w^a$) не превышает пешеходной доступности (L_p):

$$l(p_j \cdot w^d, p_{j+1} \cdot w^a) < L_p; \quad (21)$$

б) время между завершением текущей корреспонденции ($p_j \cdot t^d$) и началом следующей ($p_{j+1} \cdot t^a$) меньше времени для пересадки (T_p):

$$(p_{j+1} \cdot t^a - p_j \cdot t^d) < T_p; \quad (22)$$

в) не относится к поездкам курьера: в предполагаемом пункте пересадки пассажир не выполняет каких-либо действий, которые являются целью поездки.

Для выделения из сетевых корреспонденций поездок курьера разработаны соответствующие критерии:

начальный и конечный пункты потенциальной сетевой корреспонденции расположены в пределах пешеходной доступности:

$$l(i, j) > L_p; \quad (23)$$

длина потенциальной сетевой корреспонденции (l_{ij}) больше, чем в 1,5 раза превышает кратчайшее расстояние по маршрутной сети между начальным и конечным пунктами корреспонденции (l_{ij}^{min}):

$$l_{ij} > 1.5l_{ij}^{min}; \quad (24)$$

сегменты потенциальной сетевой корреспонденции относятся к одному и тому же участку сети, расположены в разных направлениях:

$$l(w_k^s, w_{k'}^{s'}) > L_p, w_k^s \subset p_k^s, w_{k'}^{s'} \subset p_{k'}^s \quad (25)$$



Рис. 3. Схема формирования сетевой пассажирской корреспонденции

Таким образом, сетевая корреспонденция проверяется по критериям поездок курьера. Если выполняется хотя бы одно условие из (23) – (25), все сегменты рассматриваемой корреспонденции считаются отдельными сетевыми корреспонденциями.

Определение спроса на общественный транспорт. Транспортный спрос представляется в виде матриц межостановочных маршрутных (ММК) или сетевых (МСК) пассажирских корреспонденций, которые формируются как некая усредненная модель потребности населения в передвижениях по транспортной сети:

$$Q = \|T_{ij}\|; i, j = 1, \dots, n, \quad (26)$$

где T_{ij} – количество передвижений пассажиров, совершаемых за интересующий период времени между пунктами i, j .

Определения ММК из операций валидации электронных билетов осуществляется следующим образом:

$$T_{ij} = \sum_m \sum_{\substack{p_k.i^a=i \\ p_k.i^d=j \\ p_k.m^r=m}} \frac{\phi_k}{\alpha_m^r}. \quad (27)$$

где: ϕ_k – коэффициент балансировки k -й пассажирской корреспонденции, посредством которого учитываются неинтерпретированные операции валидации ($\phi_k \geq 1$);

p_k – k -я пассажирскую корреспонденцию;

α_m^r – удельный вес перевозок по электронным билетам по m -му маршруту ($\alpha_m^r \leq 1$).

$$\alpha_m^r = (Q'_m - q_m)/Q_m, \#(28)$$

где: Q'_m, Q_m – количество пассажиров, перевезенных по электронным билетам и общее количество пассажиров m -го маршрута соответственно;

q_m – число несбалансированных неинтерпретированных корреспонденций по m -му маршруту.

Определение МСК. Расчет матрицы сетевых пассажирских корреспонденций осуществляется следующим образом. Для каждой маршрутной s -й корреспонденции определен коэффициент корректировки, посредством которого учитывается удельный вес перевозок по электронным билетам и количество нераспознанных операций валидации. Коэффициент корректировки s -ой корреспонденции между пунктами i и j по маршруту m рассчитывается как:

$$k_s = \frac{\phi_s}{\alpha_s^r}, \quad (29)$$

где α_s^r – удельный вес перевозок по электронным билетам по маршруту s -й корреспонденции.

Коэффициент корректировки x -й сетевой корреспонденции:

$$k_x = \frac{k_1^x + k_2^x + \dots}{\#\{p_1^x, p_2^x \dots\}}, \quad (30)$$

где: k_x – коэффициент корректировки x -ой маршрутной корреспонденции, которая входит в j -ю сетевую пассажирскую корреспонденцию;

$\#\{p_1^x, p_2^x, \dots\}$ – количество маршрутных корреспонденций, из которых состоит сетевая пассажирская корреспонденция (мощность множества $\{p_1^x, p_2^x, \dots\}$).

Таким образом, матрица сетевых корреспонденций рассчитывается:

$$T'_{ij} = \sum_{\substack{p_1^x.i^a=i \\ p_n^x.i^d=j}} k_x \quad (31)$$

где: p_n^x – последний сегмент x -й сетевой корреспонденции.

В третьей главе приведены методики экспериментальных исследований:

- методика определения пассажирских потоков по результатам выборочного обследования;
- методика статистической обработки экспериментальных данных, анализа экспериментальных выборок;
- методика оценки точности определения транспортного спроса на основе матрицы корреспонденций, полученных из операций валидации электронных проездных билетов.

Оценка точности определения транспортного спроса осуществляется посредством методики оценки репрезентативности пассажирских корреспонденций, полученных из валидаций электронных билетов и натурного обследования пассажирских потоков. Данная методика основана на статистическом анализе распределения пассажиров по длине маршрута, позволяет осуществлять объективную оценку соответствия расчетных и реальных поездок пассажиров.

Рассмотренные методы анализа статистических данных, посредством которых решаются задачи выявления и обработки выбросов выборочной совокупности, подбора теоретического распределения экспериментальных данных, объективного сравнения случайных выборок, обеспечивают корректное использование экспериментальных результатов.

В четвертой главе представлены основные результаты исследований, оценка их эффективности и предложения по практической реализации.

Апробация разработанной методики **определения спроса общественного транспорта** по операциям валидации электронных билетов осуществлена по данным за апрель 2019 года и октябрь 2021 года, предоставленным Муниципальным казенным учреждением города Красноярска (МКУ) «Красноярскгортранс».

МКУ «Красноярскгортранс» в формате СУБД MS SQL Server предоставлена следующая информация: навигационные данные спутникового позиционирования транспортных средств, описание маршрутной сети, операции валидации электронных проездных билетов. Объем данных: 144 млн навигационных отметок системы спутникового позиционирования и более 6 млн операций валидации электронных билетов за один месяц.

Расчет пассажирских корреспонденций осуществляется посредством разработанной компьютерной программы (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022666694 от 06.09.2022 г.). Получено, что разработанный алгоритм позволяет интерпретировать порядка 65% валидаций электронных билетов.

Репрезентативность результатов. Необходимо установить соответствие пассажирских корреспонденций, определенных по валидациям электронных проездных билетов, всем поездкам пассажиров на общественном транспорте.

Разработанная методика, позволяющая решить данную задачу, приведена в п. 3.2. Оценка репрезентативности выборки поездок по электронным билетам осуществляется путем сравнения ее с результатами выборочного автоматизированного учета пассажиров. Рассматриваются две выборки маршрутных пассажирских корреспонденций: из валидаций электронных билетов (выборка 1) и натурального обследования пассажиропотоков (выборка 2). Сравнивается распределение по длине маршрута количества входящих и выходящих пассажиров в данных выборках. Для их сравнения применяется критерий Стьюдента (t -критерий), который позволяет найти вероятность того, что оба средних значения в выборках относятся к одной и той же совокупности.

В результате проведенных расчетов получено: пассажирские корреспонденции из валидаций электронных проездных билетов обеспечивают оценку параметров спроса общественного транспорта в пределах допустимых погрешностей.

Технико-эксплуатационные показатели транспортной системы. Рассмотрим полученные результаты обработки транзакций валидации электронных билетов в сравнении с имеющимися результатами проведенных обследований пассажирских потоков.

В п. 3.4 дана методика расчета параметров транспортного предложения (технико-эксплуатационных показателей общественного транспорта) из пассажирских корреспонденций, полученных в результате обработки операций валидации электронных билетов. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Установлено, что полученные результаты соответствуют данным проведенных ранее натуральных обследований пассажирских потоков.

Из операций с электронными билетами средняя дальность поездок пассажиров составляет 6,1 км и 6,7 км по результатам натурального обследования пассажирских потоков. Разница в 10% между средней дальностью поездки пассажира в 2006 и 2019 годах объясняется изменением системы маршрутов и спроса общественного транспорта.

Коэффициент динамического использования вместимости за будний день составил 0,27. Полученные результаты соответствуют отчетным данным перевозчиков и ранее проведенным обследованиям пассажирских потоков.

Таблица 1. Технико-эксплуатационные показатели маршрутов пассажирского транспорта г. Красноярска в среднем за будний день апреля 2019 г. (фрагмент)

Маршрут	Q_k	P_k	l_q	Z_m	Q_p	q_n	l_m	γ_d	K_{sm}
10	5918	35252	6,0	121	49,1	90	22,8	0,14	3,8
11	5451	22602	4,1	177	30,8	90	10,3	0,14	2,5
12	8425	65963	7,8	140	60,4	90	28,9	0,18	3,7
13т	5084	15084	3,0	113	45,1	90	8,5	0,18	2,9
14	1511	8100	5,4	32	47,7	45	16,3	0,35	3,0

ИТОГО	710049	4342741	6,1					0,27	

где: Q_k – объем перевозок по k -му маршруту.

На рисунке 4 приведено распределение пассажирских корреспонденций по номеру остановочного пункта начала поездки от точки валидации электронного проездного билета. Из рисунка видно, что порядка 90% пассажиров осуществляют оплату за проезд на первом перегоне после посадки. Одну остановку до оплаты проезжает 5,4% пассажиров, 2 остановки – 2,1%. В конце проезда оплату осуществляют не более 5% пассажиров, такой способ сегодня в городе Красноярске практикуется на одном-двух маршрутах, на которых работают автобусы малого класса.

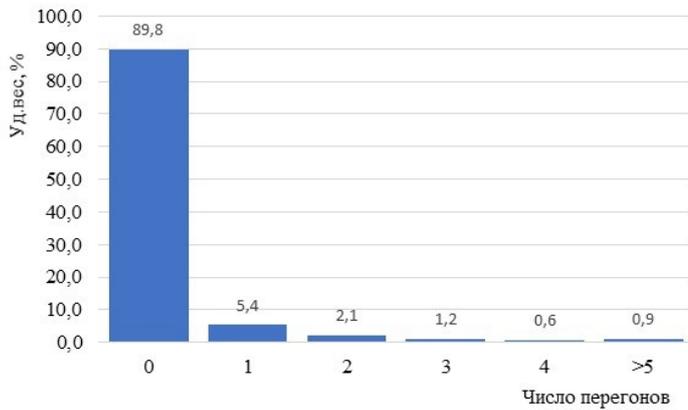


Рис. 4. Распределение пассажирских корреспонденций по номеру остановочного пункта начала поездки от точки валидации электронного проездного билета

На рисунке 5 приведена схема связей начальных и конечных остановочных пунктов пассажирских корреспонденций двух электронных проездных билетов. На схеме радиус окружности пропорционален количеству прибытий или отправок пассажира; пункты отправления обозначены розовым цветом, прибытия – синим. На схеме остановочный пункт с наибольшим числом отправок (с наибольшим радиусом окружности) расположен вблизи места жительства пассажира. Остановочный пункт с наибольшим числом прибытий – это основное место притяжения пассажира (работа, учеба и т.д.). Кроме этого, можно выделить остановочные пункты культурно-бытовых корреспонденций, выполняемых с разной периодичностью.

На рисунке 6 дано распределение количества перевезенных пассажиров по часам буднего дня, определенное из валидаций электронных билетов по методике, приведенной в диссертации А.И. Фадеева (методика 1), и по методике, представленной в настоящей работе (методика 2), а также из сплошного обследования пассажирских потоков (2011 г.) общественного транспорта города Красноярска. Доказано, что поездки пассажиров по электронным билетам соответствуют динамике пассажирских потоков по часам суток из натурального обследования. Некоторые расхождения объясняются изменениями в структуре транспортного спроса, произошедшими с 2011 г.

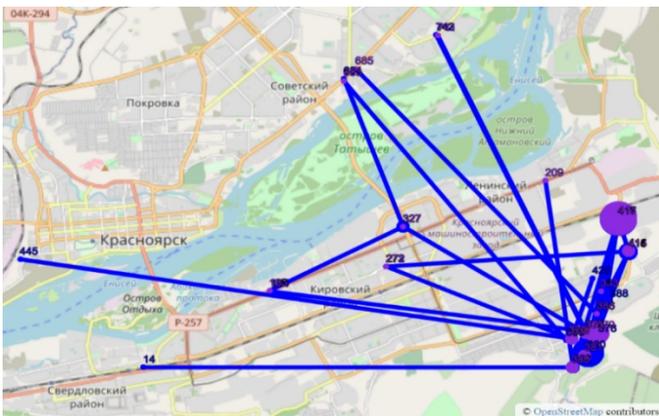


Рис. 5 Схема связей начальных и конечных остановочных пунктов пассажирских корреспонденций электронного проездного билета

В таблице 2 приведено распределение пассажирских корреспонденций по длине поездки. Из таблицы можно сделать вывод об одинаковой зависимости удельного веса поездок от длины пассажирских корреспонденций, полученных из валидаций электронных билетов, а также из натуральных обследований пассажирских потоков. Средняя дальность поездки пассажиров составляет 6,29 км по данным валидаций электронных проездных билетов и 6,66 км из обследования 2006 г. Разница в 5,6% между средней дальностью поездки пассажира в 2006 и 2019 годах объясняется изменением системы маршрутов и спроса общественного транспорта.

В соответствии с таблицей 3 на маршрутной сети города Красноярск в настоящее время к поездкам с пересадками относятся 8,5% пассажирских корреспонденций. Из них около половины (44,8) – это корреспонденции курьера, т.е. поездки, выполняемые с определенными целями в пунктах пересадок. Таким образом, удельный вес поездок с пересадками за вычетом поездок курьера составляет 4,7%, причем в сетевых корреспонденциях наблюдается не более одной пересадки. Все поездки с большим числом пересадок в результате анализа отнесены к корреспонденциям курьера.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшую разработку темы целесообразно осуществлять в следующих направлениях:

- исследования факторов допустимых вариантов связности пассажирских корреспонденций, таких как оборудование остановочных пунктов, место их расположения и т.д.;
- формирование комплекса параметров транспортного спроса для использования в работе органов и организаций управления общественным транспортом;
- интеграция имеющегося программного обеспечения в систему учета оплаты проезда и диспетчерского управления движением общественного городского транспорта для обеспечения промышленной технологии мониторинга пассажирских потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных исследований получены основные результаты и выводы.

1. Теоретически обоснованный метод позволяет определять пассажирские корреспонденции ГПТОП из операций валидации ЭлПБ посредством формирования множества допустимых вариантов следования поездок, из которого осуществляется выбор с применением интегрального критерия, формируемого из вектора оценочных показателей факторов, влияющих на выбор маршрута пассажирами.

Разработанный метод обеспечивает интерпретацию более 65% поездок по ЭлПБ.

2. Научно обоснованная методика оценки достоверности определения спроса ГПТОП, основанная на анализе распределения числа входящих и выходящих пассажиров между ОП маршрута, позволяет установить степень статистического соответствия совокупности пассажирских корреспонденций из валидаций ЭлПБ параметрам пассажирских потоков ГПТОП в пределах допустимых погрешностей.

Доказано, что пассажирские корреспонденции, полученные из операций валидации ЭлПБ, могут применяться для оценки характеристик транспортного спроса в пределах допустимых погрешностей.

3. Разработанные и апробированные критерии определения поездок курьера позволяют устанавливать поездки, при выполнении которых пассажир в ОП, удовлетворяющих условиям пересадки, за короткое время, не превышающее период пересадки, решает определенные задачи, составляющие цель посещения данного ОП.

Установлено, что поездки курьера занимают существенный удельный вес, который для МС г. Красноярск составляет около половины (44,8%) поездок с пересадками.

4. Разработанная методика формирования поездок пассажиров из операций валидации ЭлПБ обеспечивает определение спроса на ГПТОП и расчет параметров транспортного предложения, и таким образом позволяет решить задачу мониторинга пассажирских потоков, которая является одним из важнейших условий устойчивого развития ГПТОП за счет проектирования транспортного предложения, соответствующего спросу.

5. Экономическая эффективность использования данных транспортного спроса из операций валидаций ЭлПБ, интегрированных с АСУДУ ГПТОП, для условий г. Красноярск составила порядка 12,5 млн рублей за один будний день обследования работы транспорта, т.е. порядка 17,7 рублей на одну пассажирскую корреспонденцию.

Социальный эффект выражается в повышении качества и эффективности транспортного обслуживания за счет внедрения мониторинга пассажирских потоков, и тем самым обеспечивает соответствие спроса и предложения на уровне стандартов транспортного обслуживания населения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Фадеев, А.И. Определение предельно допустимого коэффициента использования вместимости городского пассажирского транспорта / А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2019, Т. 16. №3 (67). - с. 290-301.
2. Фадеев, А.И. Определение пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта / А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2020 - №17(2) – с. 248-261.
3. Фадеев, А.И. Обследование пассажирских потоков путем анализа валидаций электронных проездных билетов / А.И. Фадеев, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2021 - №18(1) – с. 52 - 71.
4. Фадеев, А.И. Методика определения корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидаций электронных проездных билетов / А.И. Фадеев, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2022 - №19(3) – с. 370-397.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных

5. Fadeev, A.I. Monitoring public transport demand using data from automated fare collection system / A.I. Fadeev, S. Alhousseini, E.N. Belova // Advances in Engineering Research: Proceedings of the International Conference «Aviamechanical Engineering and Transport». – 2018, vol. 158: – P. 5-12.
6. Fadeev, A.I. Standardization of the capacity utilization factor of urban public transport fleet / A.I. Fadeev, Ye.V. Fomin, S. Alhousseini, K.V. Pulyanova and E.S. Voevodin // ICI2AE 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019, vol.632. – P. 25-32.
7. Fadeev, A.I. Using Automated Fare Collection System Data to Determine Transport Demand / A.I. Fadeev, S. Alhousseini // Advances in Engineering Research, 188. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). – 2020, vol. 37. – P. 1-9.
8. Fadeev, A.I. Determining the public transport demand by validation data of the electronic tickets / A.I. Fadeev, S. Alhousseini // MIST: Aerospace 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020, vol. 734. – P.7-12.
9. Fadeev, A.I. Passenger trips analysis determined by processing validation data of the electronic tickets in public transport / A.I. Fadeev, S. Alhousseini // 2021 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021, vol. 1061. – P.9-15.
10. Fadeev, A.I. Regulation of the stop points throughput capacity in urban public transport / A.I. Fadeev, S. Alhousseini // 2021 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021, vol. 1061. – P.16-22.
11. Fadeev, A.I. Determination of Urban Public Transport Demand by Processing Electronic Travel Ticket Data / A.I. Fadeev, S. Alhousseini // 2023 Periodica Polytechnica Transportation Engineering. – 2023, vol. 51(4). – P. 394-408.

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ

12. Свидетельство № 2022666694 Российская Федерация, Программа расчета пассажирских корреспонденций из операций валидаций электронных проездных билетов городского общественного транспорта / А. И. Фадеев, С. Алхуссейни; заявитель ФГАОУ ВО

«СФУ». № заявки 2022665957, заявл. 29.08.2022; опубл. 06.09.2022.

Статьи в научных рецензируемых изданиях и сборниках трудов

13. Фадеев, А.И. Использование данных системы автоматизированной системы оплаты проезда для обследования пассажирских потоков / А. И. Фадеев, С. Алхуссейни // *Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сборник статей X международной научно-технической конференции, Иркутск, 21–26 мая 2018 года.* – Иркутск: ФГБОУ ВО «ИРНТУ», 2018. – С. 329-334.

14. Алхуссейни, С. Использование данных автоматизированных систем оплаты проезда для расчета подвижности населения / С. Алхуссейни // *Молодежный научный потенциал XXI века: ступени познания : сборник материалов III Молодежной международной научно-практической конференции, Новосибирск, 10 января 2018 г.* – Новосибирск: ООО "Центр развития научного сотрудничества", 2018. – С. 141-145.

15. Алхуссейни, С. Исправления в алгоритме расчета пассажирских корреспонденций по данным валидаций электронных проездных билетов / С. Алхуссейни // *Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 октября 2022 года.* – Красноярск: ФГБОУ ВО «СибГУ им. М.Ф. Решетнева», 2023. – С. 193-197.

16. Фадеев, А.И. Задача определения пассажирских корреспонденций посредством данных системы безналичной оплаты проезда / А. И. Фадеев, С. Алхуссейни // *Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: Материалы 116-й Международной научно-технической конференции, Улан-Удэ, 12–13 сентября 2023 года.* – Улан-Удэ: ФГБОУ ВО «ВСГУТУ», 2023. – С. 57-61.

17. Фадеев, А.И. Мониторинг спроса городского пассажирского транспорта общего пользования посредством данных валидации электронных проездных билетов / А. И. Фадеев, С. Алхуссейни // *Борисовские чтения: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Красноярск, 25–26 октября 2023 года.* – Красноярск: ФГАОУ ВО «СФУ», 2024. – С. 358-362.

Подписано в печать 21.10.2024. Формат 60 x 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Зак. 81к.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный
исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, у. Лермонтова, 83