

Научная статья
УДК 656.02
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-266-281>
EDN: KQPJRV



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖДУГОРОДНЕГО ПАССАЖИРСКОГО СПРОСА ПОСРЕДСТВОМ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А.И. Фадеев ✉, А.М. Ильянков
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия
✉ ответственный автор
9135335784@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из актуальных нерешенных до настоящего времени вопросов является определение потенциального (общего, насыщенного) транспортного спроса, т.е. теоретического количества поездок, которое возможно на сегменте рынка перевозок по междугородным автобусным регулярным маршрутам.

Материалы и методы. Ключевой информацией для математической модели определения междугородного транспортного спроса является объем отправок и прибытий между населенными пунктами. Данная статистика доступна в основном для транспорта общего пользования. Информация об общем транспортном спросе, как правило, отсутствует. Для автодорожной сети объемы отправок зачисляются как определенный процент от общего населения.

В настоящее время особую перспективу представляют методы изучения транспортного спроса, основанные на сборе, интеграции и анализе больших и разнородных данных, генерируемых различными источниками в пространствах жизнедеятельности человека. В рамках данного направления рассматривается применение информации системы видеонаблюдения транспортных средств для учета междугородных транспортных потоков. В статье сформулирована система уравнений, связывающих корреспонденции между населенными пунктами и учитываемый пассажирский поток, который подразделяется на входящий, исходящий и транзитный.

При использовании видеонаблюдения транспортного средства в расчетах посредством предложенного поправочного коэффициента учитывается эффект, связанный с перемещением наблюдателя в пространстве, который заключается в следующем: объекты, учитываемые движущимся наблюдателем, будут доступны неподвижному наблюдателю через промежуток времени, который можно определить как отношение расстояния между наблюдателями к скорости объекта.

Результаты. Предложенный в статье подход для учета транспортных и пассажирских потоков апробирован на изолированном транспортном коридоре, пассажиры по которому перевозятся автомобильным транспортом (автобус рейсовый и заказной, легковой автомобиль), другие виды транспорта (например, железнодорожный) отсутствуют.

Обсуждение и заключение. Коэффициент детерминации полученной математической модели позволяет сделать вывод о ее приемлемости, 18% вариации зависимой переменной можно отнести на счет неизвестных, скрытых параметров или статистических погрешностей исходных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: общественный транспорт, планирование общественного транспорта, междугородная автобусная линия, транспортный спрос, матрица пассажирских корреспонденций, транспортное предложение

Статья поступила в редакцию 03.07.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; принята к публикации 17.04.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Фадеев А.И., Ильянков А.М., 2026



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Фадеев А.И., Ильянков А.М. Определение междугороднего пассажирского спроса посредством системы видеонаблюдения транспортного средства // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 2. С. 266-281. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-266-281>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-266-281>

EDN: KQPJRV

DETERMINATION OF INTERCITY PASSENGER DEMAND BY MEANS OF A VEHICLE VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM

Aleksandr I. Fadeyev ✉, Aleksey M. Ilyankov
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia
✉ corresponding author
9135335784@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. One of the current unresolved issues is to determine the potential (total, intensive) transport demand, i.e. the theoretical number of trips that are possible in the segment of the intercity bus transportation market on regular routes.

Materials and methods. The key information for the mathematical model of determining intercity transport demand is the volume of departures and arrivals between settlements. These statistics are available mainly for public transport. Information on overall transport demand, as a rule, is unavailable. For the road network, departure volumes are often calculated as a certain percentage of the total population.

Currently, methods of studying transport demand based on the collection, integration and analysis of large and heterogeneous data generated by various sources in the spheres of human activities represent a promising perspective. Within this approach, the application of information from a vehicle video surveillance system for tracking the intercity traffic flows is being considered. The article formulates a system of equations linking transport communications between settlements and the passenger flow being considered, which is divided into incoming, outgoing, and transit.

When using video surveillance of a vehicle in calculations with the use of the proposed correction factor, we take into account the effect associated with the movement of the observer in space, which is as follows: the objects taken into account by the moving observer will be available to the stationary observer after a period of time, which can be defined as the ratio of the distance between the observers to the speed of the object.

Results. The proposed in the article approach for tracking transport and passenger flows has been tested on an isolated transport corridor, along which passengers travel by road (scheduled and chartered buses, cars), and other modes of transport (e.g., rail) are absent.

Discussion and conclusion. The coefficient of determination of the obtained mathematical model allows us to conclude that it is acceptable, 18% of the variation in the dependent variable can be attributed to unknown, hidden parameters or statistical errors in the initial data.

KEYWORDS: public transport, public transport planning, intercity bus line, transport demand, passenger transport communication matrix, transport offer

The article was submitted: July 03, 2025; approved after reviewing: March 11, 2026; accepted for publication: April 17, 2026.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Fadeyev A.I., Ilyankov A.M., Determination of intercity passenger demand by means of a vehicle video surveillance system. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (2): 266-281. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-266-281>

© Fadeyev Aleksandr I., Ilyankov Aleksey M., 2026



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Междугородный автобусный транспорт обеспечивает удовлетворение мобильности населения, что является важным фактором развития экономики и общества [1]. Он играет ключевую роль благодаря гибкости в расписании, большому пространственному охвату и относительно низким инвестициям в инфраструктуру по сравнению с железнодорожным и воздушным видами перевозок. Следует отметить особую роль автобуса для поездок населения, не имеющего личного автомобиля. На междугородных маршрутах автобуса во многих случаях осуществляются перевозки пассажиров внутри малых населенных пунктов, расположенных на регулярной линии [2, 3], в сельских районах общественный транспорт зачастую целиком базируется на региональных автобусных линиях [4, 5].

Предложение транспортных услуг должно быть сформировано таким образом, чтобы оно в наибольшей степени соответствовало спросу [6]. Под транспортным предложением понимается свойство транспортной системы обеспечивать удовлетворение потребностей населения в перевозках¹. Транспортное предложение оценивается вектором параметров (критериев), определяющих эффективность и качество транспортного обслуживания.

Транспортный спрос отражает перемещение населения различными видами транспорта. Он характеризуется широким кругом показателей, таких как пункт отправления, пункт назначения, количество перемещений, время отправления, время прибытия, причина и т.д.

Соответствие транспортного предложения спросу обеспечивается путем решения определенного круга задач, таких как оптимизация маршрутов, планирование расписания, совершенствование структуры парка транспортных средств и т.д. Исследования по проектированию маршрутов различных видов транспорта, определению интервалов (частоты) движения и формированию расписаний перевозок рассмотрены в [7, 8, 9, 10, 11]. Следует отметить, что данные задачи в большинстве случаев решаются в контексте городских перевозок.

Совершенствование перевозок по регулярным междугородным маршрутам требует оценки различных факторов, обусловленных предпочтениями пассажиров, операторов и

общества в целом [3]. В этой связи актуальным является определение и прогнозирование пассажирских потоков [12, 13].

Для решения задач совершенствования транспортной системы требуется информация об общем транспортном спросе, который реализуется посредством разных видов транспорта. Моделирование пространственного распределения пассажиропотоков является необходимым условием успешного планирования развития транспортной системы, а также прогнозирования спроса [14].

Таким образом, одним из актуальных нерешенных до настоящего времени вопросов является определение потенциального (общего, насыщенного) транспортного спроса [15], т.е. теоретического количества поездок, которое возможно на рассматриваемом рынке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для транспортных прогнозов применяются агрегированные и дезагрегированные модели [16]. Агрегированные модели основываются на усредненных значениях показателей, определяющих спрос.

Транспортное поведение жителя зависит от многих факторов, таких как размер и доходы семьи, транспортные расходы, наличие в семье легковых автомобилей и их количество и др. Для их учета применяются дезагрегированные модели. Однако дезагрегированные модели имеют недостатки, обусловленные сложностью получения требуемых данных, некоторые из которых являются конфиденциальными. Эти модели наиболее эффективны для оценки различных программ и мероприятий стимулирования перспективного транспортного спроса, повышения эффективности и качества транспортного обслуживания.

Среди агрегированных моделей оценки спроса на передвижения (trip generation) и расчета матрицы корреспонденций (trip distribution) наиболее известными являются гравитационная модель и подход, основанный на максимизации энтропии, который, в свою очередь, можно свести к гравитационной модели при решении рассматриваемой задачи [6].

В соответствии с гравитационной моделью взаимодействие населенных пунктов или транспортных районов описывается следующим образом [6]:

¹ Colonna, Pasquale & Fonzone, Achille. (2001). Factors influencing transport requirements and transport supply // Conference: Piarc international comitee c4 interurban roads and integrated transport at: Timisoara, Romania

$$T_{ij} = \alpha P_i P_j f(c_{ij}) \quad (1)$$

или

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij}), \quad (2)$$

где T_{ij} – количество перемещений между i -м и j -м населенными пунктами;

P_i, P_j – численность жителей населенного пункта i, j соответственно;

O_i и D_j – число отправок из пункта i и прибытий в пункт j соответственно;

α – постоянная, определяемая в результате калибровки модели;

$f(c_{ij})$ – обобщенная функция транспортных расходов с одним или несколькими параметрами (функция сдерживания).

Функция сдерживания описывает снижение привлекательности поездок по мере увеличения затрат пассажира, например, времени, расстояния, затрат на поездку и т.д. Часто используются следующие варианты данной функции [6]:

а) экспоненциальная:

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij}), \quad (3)$$

б) степенная:

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}, \quad (4)$$

в) комбинированная:

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^n \exp(-\beta c_{ij}), \quad (5)$$

где β, n – коэффициенты, определяемые при калибровке функции сдерживания.

При использовании в модели числа отправок и прибытий требуется обеспечить выполнение следующих ограничений [6]:

$$\sum_i T_{ij} = D_j; \sum_j T_{ij} = O_i. \quad (6)$$

Для этого единый коэффициент пропорциональности α заменяют на два набора уравновешивающих коэффициентов A_i и B_j , т.е. [6, 9, 17,]:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}). \quad (7)$$

Предложены и другие варианты гравитационной модели, обеспечивающие выполнение ограничения (6), например [18]:

$$T_{ij} = \frac{\alpha_{ij} O_i D_j}{I_{ij}^m}, \quad (8)$$

где α_{ij} – функция тяготения между пунктами i и j .

Задача определения транспортного спроса рассматривалась во многих исследованиях [19, 20, 21]. Однако в большинстве из них изучался спрос общественного транспорта, а не общее число поездок населения.

В работе [22] описан алгоритм расчета матрицы корреспонденций, основанный на емкости по прибытию и отправлению остановочных пунктов пригородного маршрута. Считается, что количество пассажиров, i -го остановочного пункта, прибывают на j -й остановочный пункт пропорционально его емкости по прибытию. Однако при этом не доказано, что расстояние между остановочными пунктами не оказывает влияния на матрицу пассажирских корреспонденций. Широкое применение гравитационного метода для описания поездок пассажиров ставит под сомнение адекватность данного алгоритма.

В статье [20] делается заключение, что традиционная четырехэтапная математическая модель не подходит для анализа спроса на междугородные перевозки, создана интегрированная многоуровневая система, основанная на вложенных логит-моделях, состоящая из следующих шагов, аналогичных классической транспортной модели: генерация междугородных поездок, выбор пункта назначения и выбор вида транспорта и трансфера в пунктах отправления и назначения. В данном случае предложен комплекс логит-моделей, требующих существенный объем информации, для получения которой необходимо проводить анкетирование пассажира. Во многих случаях оценку определенного сегмента рынка пассажирских перевозок желательно на первом этапе осуществлять с применением подхода, основанного на имеющемся объеме информации без большого объема дополнительных исследований.

Во многих работах для расчета транспортного спроса на междугородных и пригородных линиях применялась гравитационная модель [23, 24, 25, 26, 27]. В [24] посредством модели (2) определялись пассажирские корреспонденции транспортом общего пользования.

Как упоминалось выше, особую проблему составляет сложность получения на междугородных линиях фактических данных об имеющемся транспортном спросе [25]. В этой связи предпринимались попытки моделирования перемещения населения маршрутными автобусами и индивидуальными автомобилями в междугородном сообщении с помощью модифицированных гравитационных моделей. Ключевой информацией для гравитаци-

онной модели являются объемы отправок и прибытий. По имеющейся статистике только для железнодорожной сети были получены эмпирические данные отправок. Для автодорожной сети в некоторых работах объемы отправок рассчитывали как определенный процент от общего населения [25].

Вопрос исследования адекватности гравитационной модели с двойным ограничением и экспоненциально-степенной функцией сдерживания рассматривается в [14]. Калибровка и валидация указанной модели показаны в наблюдаемой (фактической) матрице происхождения железнодорожного пассажира методом максимального правдоподобия. В работе также анализируются инструменты проверки гравитационной модели, используемые для оценки близости между наблюдаемой и смоделированной матрицами перемещений. Получено, что гравитационная модель с высокой степенью точности предсказывает такие агрегированные показатели, как общий пассажирооборот, среднее расстояние в пути и распределение расстояний в пути. В то же время получено, что погрешность в прогнозировании пассажиропотока для большинства отдельных рейсов из пункта отправления в пункт назначения достаточно велика.

Имеется большое число исследований оценки спроса на авиаперевозки, который обычно формулируется посредством двух задач: моделирование (первый этап) и распределение (второй этап) спроса. Для оценки общего размера рынка используется гравитационный метод. При этом учитываются следующие группы факторов: геоэкономические (ВВП, численность населения и т.д.), факторы сопротивления (расстояние, стоимость и т.д.), факторы качества и эффективности обслуживания (частота движения, типы маршрутов и т.д.). На втором этапе моделируется распределение рыночного спроса между конкурирующими альтернативами на различных уровнях агрегирования (авиакомпаний, маршрутов, аэропортов и т.д.) [28].

В работе [29] представлены две гравитационные модели для оценки объема авиапассажирских перевозок между городами-парами. Модели включают переменные, описывающие общую экономическую активность и географические характеристики пар городов. Авторы считают, что обе модели могут быть применены к городам, в которых отсутствует воздушное сообщение.

Три гравитационные модели для оценки спроса на авиаперевозки представлены в [31].

Они учитывают ВВП на душу населения, численность населения и расстояние между населенными пунктами.

В статье [30] рассматриваются закономерности изменения объема пассажирских перевозок в зависимости от численности жителей населенного пункта, установлены законы распределения объема перевозок.

Результаты изучения влияния разных факторов на междугородные пассажирские потоки даны в [31]. Рассматривались следующие факторы: частота рейсов, пассажирские тарифы, время в пути, расстояние между пунктом отправления и пунктом назначения, вместимость транспортного средства. В результате предложена модель расчета транспортного спроса населенного пункта, выраженного в пассажиро-километрах.

Таким образом, ключевой информацией для математической модели междугородного транспортного спроса является фактический объем отправок и прибытий между населенными пунктами. Данная статистика доступна в основном для транспорта общего пользования. Информация об общем транспортном спросе, как правило, отсутствует. Для ее получения затруднительно использование ручного учета вследствие существенной трудоемкости. Камеры видеонаблюдения также не всегда могут использоваться, т.к. их размещение обуславливает другие цели, связанные с повышением безопасности дорожного движения. В этой связи большинство камер размещено на подходах к населенным пунктам, на которых в транспортных потоках высок удельный вес местного движения, что препятствует определению междугородных потоков.

В работе [32] описывается использование пунктов учёта интенсивности и состава движения, принцип действия которых основан на различных методах детектирования типов автотранспортных средств: электромагнитное и радиолокационное детектирование автотранспортных средств. Однако размещение данных пунктов не обеспечивает решение задачи учета междугородных транспортных потоков.

В настоящее время особую перспективу представляют методы изучения транспортного спроса, основанные на сборе, интеграции и анализе больших и разнородных данных, генерируемых различными источниками в пространствах жизнедеятельности человека: мобильными телефонами, транспортными средствами, камерами видеонаблюдения и т.д. (Urban computing, Big data, Internet of things, IoT) [33, 34, 35].

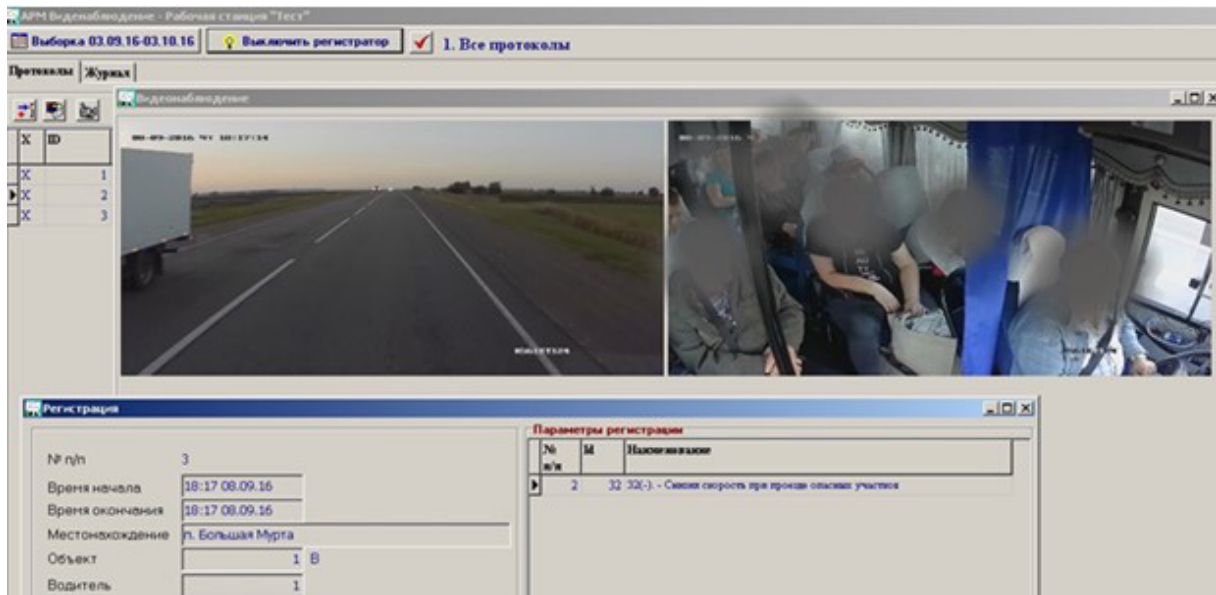


Рисунок 1 – Интерфейс программы формирования протокола обработки данных видеонаблюдения
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Program Interface to generate a protocol for processing video surveillance data
Source: compiled by the authors.

Современные мобильные операторы обеспечивают получение информации о местоположении и перемещениях населения с точностью до 500 м [36]. Эти данные используются в разных сферах, в т.ч. для определения транспортного спроса. Однако информация сотовых операторов обладает недостаточной точностью (связанной, например, с несколькими сим-картами на одного абонента, точностью геолокации и др.), необходима дополнительная калибровка модели с применением натуральных обследований [36].

Система видеонаблюдения, которой оборудуется транспорт общего пользования, обеспечивает визуальный контроль перевозочного процесса²: дорожной обстановки на маршруте, событий в салоне транспортного средства. Некоторые перевозчики для повышения эффективности контроля за исполнением движением практикуют использование сменных носителей информации в таких системах. Данный подход исключает необходимость технологически затруднительной пере-

дачи данных видеонаблюдения по каналам связи (например, Wi-Fi) непосредственно с транспортного средства.

Анализ исполненного движения со сменного носителя информации выполняется на рабочем месте аналитика. В процессе анализа выбираются, описываются и классифицируются события, которые заносятся в протокол вместе с отрезками видеонаблюдения (рисунок 1). Формируется рейтинг работы водителей и персонала транспортных терминалов. При обработке контента программное обеспечение определяет местонахождение транспортного средства в момент события.

Рассмотрим возможность применения видеонаблюдения транспортного средства для определения транспортного спроса. По междугородному автобусному маршруту, как правило, выполняются несколько рейсов в день таким образом, что имеется возможность измерения транспортных и пассажирских потоков. С помощью соответствующего программного обеспечения³ на рабочем ме-

² Фадеев А.И., Ильянков М.Т. Интегрированная информационная система бронирования билетов, контроля и управления перевозками пассажиров на автомобильном транспорте // Борисовские чтения: материалы II Научно-технической конференции, посвященной памяти профессора Борисова Василия Николаевича – организатора и первого ректора Красноярского политехнического института, 25–27 сентября 2019. Красноярск, 2019. С. 215–219.

³ Фадеев А.И., Ильянков М.Т. Интегрированная информационная система организации и управления перевозками пассажиров по регулярным автобусным маршрутам // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции. 2019. С. 654–661.

сте аналитика осуществляется визуальный учет встречных транспортных средств. Учет осуществляется на участках маршрута таким образом, чтобы в наибольшей степени исключить влияние местного (пригородного) движения вблизи населенных пунктов: перемещения на дачные участки, промышленные объекты и т.д. Участки учета определяются экспериментально, таким образом, чтобы интенсивность потока не зависела от расстояния до населенного пункта. Населенные пункты, расположенные на небольшом расстоянии, рекомендуется объединять при учете вследствие большого удельного веса местного движения.

Для простоты рассмотрим изолированный транспортный коридор, состоящий из линейной последовательности населенных пунктов (рисунок 2), пассажиры по которому перевозятся автомобильным транспортом (автобус рейсовый и заказной, легковой автомобиль), другие виды транспорта (например, железнодорожный) отсутствуют. Такой транспортный коридор описан, например, в работе [28].

На рисунке 2 приведена схема транспортного коридора, состоящего из n населенных пунктов, между которыми требуется опреде-

лить общий транспортный спрос. Известно расстояние между населенными пунктами и численность населения. Расчет теоретического транспортного спроса будем осуществлять по выражению (1) с использованием степенной функции сдерживания, показатель степени равен 2. Выбор функции сдерживания осуществлен экспериментально путем сравнения результатов, полученных для каждого варианта. Для определения коэффициента применен метод наименьших квадратов.

Калибровку и валидацию математической модели транспортного спроса будем осуществлять с использованием транспортных потоков, определенных между населенными пунктами в результате обработки данных видеонаблюдения подвижного состава (см. рисунок 1). При этом осуществляется учет транспортных средств, встречных движению подвижного состава с видеорегистратором. Начало и ширина зон учета обусловлена расстоянием до населенных пунктов, на котором в минимальной степени сказывается местное движение. Это расстояние зависит от численности населения, оно определялось опытным путем при калибровке и валидации модели.

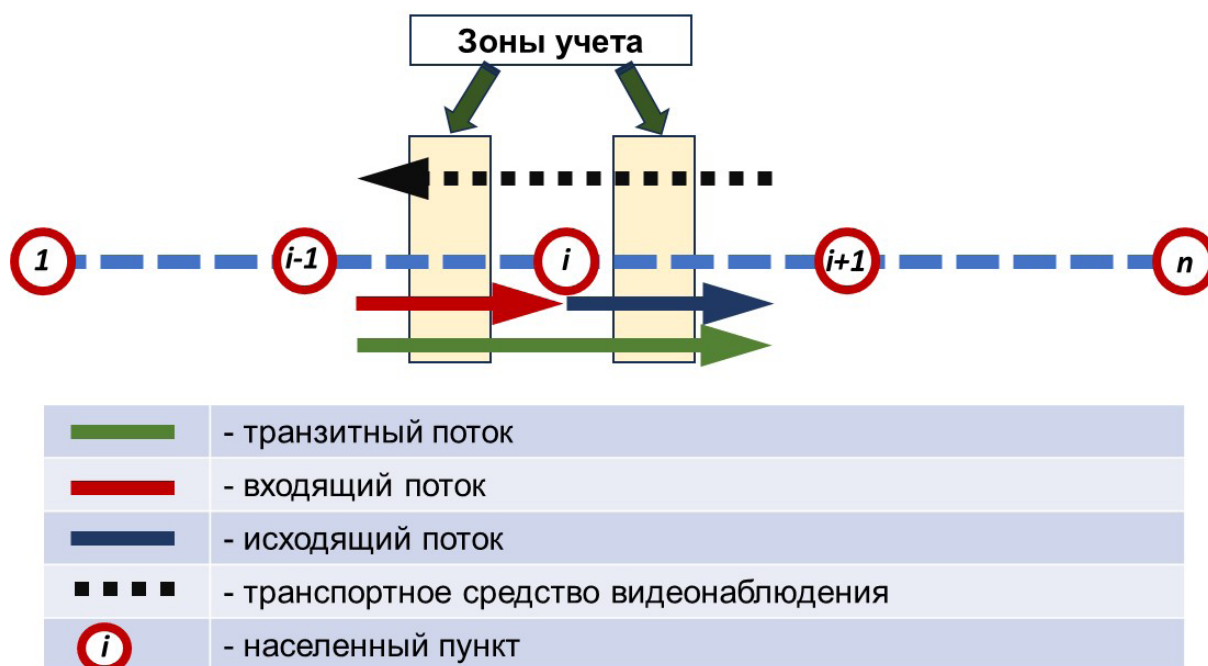


Рисунок 2 – Схема транспортного коридора
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – The scheme of the transport corridor
Source: compiled by the authors.

Для учета транспортный поток разделен на следующие группы: легковые, грузовые автомобили, автобусы (большой, средней, малой и особо малой вместимости). Транспортный спрос рассчитан в среднесуточном количестве пассажиров. Среднее число пассажиров в легковом автомобиле, автобусах соответствующей вместимости определено визуальным методом⁴, который, как правило, применяется при определении транспортного спроса для решения подобных задач. Пассажиры грузовых автомобилей не учитывались: считается, что в большинстве случаев их движение обусловлено логистикой, а не мобильностью населения.

Из рисунка 2 видно, что учитываемый транспортный поток подразделяется на транзитный, входящий и исходящий. Составим систему уравнений, связывающую корреспонденции между населенными пунктами и учитываемый пассажирский поток:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{12} = \sum_2^n T_{1,i}; \\ \lambda_{23} = \sum_{i=3}^n (T_{1,i} + T_{2,i}); \\ \lambda_{3,4} = \sum_{i=4}^n (T_{1,i} + T_{2,i} + T_{3,i}); \\ \lambda_{n-1,n} = \sum_{i=n}^n (T_{1,i} + T_{2,i} + *** + T_{n,i}); \end{array} \right. \quad (9)$$

где λ_{ij} – интенсивность пассажирского потока между i -м и j -м пунктами транспортного коридора;

$T_{1,i}$ – интенсивность пассажирской корреспонденции между i -м и j -м пунктами (транспортный спрос);

n – число населенных пунктов транспортного коридора.

В таблице 1 даны результаты учета пассажирских потоков между населенными пунктами рассматриваемого транспортного коридора. В расчетах необходимо учитывать перемещение наблюдателя в пространстве. Для этого число пассажиров за час определяется следующим образом:

$$Q_i^h = \frac{60Q_i^f}{t_c k_i^p}, \quad (10)$$

$$k_i^v = \frac{v_a}{v_i}, \quad (11)$$

$$Q_i^c = n_i q_i, \quad (12)$$

где Q_i^h – число пассажиров в транспортных средствах i -й группы (легковой автомобиль, автобус большой, средней, малой и особо малой вместимости), пасс./ч;

Q_i^c – число пассажиров в транспортных средствах i -й группы, определенное за время замера (учета);

t_c – длительность замера, мин;

k_i^v – корректирующий коэффициент, учитывающий перемещение наблюдателя;

v_a – средняя скорость наблюдателя (транспортного средства, на котором установлено видеонаблюдение);

v_i – средняя скорость учитываемых транспортных средств i -й группы;

n_i – число транспортных средств i -й группы определенное в результате учета;

q_i – среднее число пассажиров в транспортном средстве i -й группы.

Физический смысл корректирующего коэффициента k_i^v заключается в следующем. Транспортные единицы, учитываемые движущимся наблюдателем, будут доступны неподвижному наблюдателю через промежуток времени, который можно определить как отношение расстояния между наблюдателями к скорости наблюдаемого объекта.

Перечень населенных пунктов рассматриваемого транспортного коридора приведен в таблице 2. В таблице 1 для расчета среднегодовой суточной интенсивности пассажирских потоков использованы коэффициенты $K_{сч}$, приведенные в ГОСТ 32965–2014⁵. В данном стандарте коэффициенты $K_{сч}$ даны для времени учета с 8:00 до 17:00, продолжительности учета от 1 до 12 ч. В связи с тем, что коэффициенты учета известны не для всех часов суток, некоторые строки таблицы 2 для определения среднесуточной интенсивности пассажирского потока не использовались.

⁴ Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

⁵ ГОСТ 32965-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока (введен в действие Приказом Росстандарта от 31.08.2016 N 997-ст).

Таблица 1
 Результаты учета пассажирских потоков между населенными пунктами транспортного коридора (фрагмент)
 Источник: составлено авторами.

Table 1
 Results of tracking the passenger flows between settlements in the transport corridor (fragment)
 Source: compiled by the authors.

Перегон	Время суток	Длительность замера, мин	Пассажиропоток							
			Учет		$K_{сч}^*$	Среднегодовая суточная интенсивность, пасс.				
			пасс.	пасс./ч		Учет	Направление		В среднем	
							Прямое	Обратное		
1-2	13	7	66	267,6	15,90	4255,4	4359,4	5807,6	5083,5	
	17	5	24	130,7	13,56	1772,1				
	14	6	92	461,4	15,28	7050,6				
2-1	12	6	38	185,7	16,01	2973,1		5807,6	5083,5	
	8	5	80	462,0	17,68	8168,7				
	17	6	96	463,2	13,56	6281,0				
	0	6	2	10,6						
2-3	12	9	54	177,4	16,01	2840,9	2684,2	3910,9	3297,6	
	17	10	36	110,7	13,56	1500,6				
	14	9	72	242,9	15,28	3711,1				
3-2	13	10	94	298,6	15,90	4747,6		3910,9	3297,6	
	8	9	64	214,0	17,68	3783,4				
	17	9	70	236,1	13,56	3201,9				
	0	10	8	23,3						

12-13	8	25	138	169,7	17,68	3000,0	2347,6	2792,6	2570,1	
	13	14	78	174,9	15,90	2780,8				
	10	19	50	80,1	15,76	1262,0				
13-12	16	13	88	207,1	13,22	2737,3		2792,6	2570,1	
	12	20	112	177,9	16,01	2847,9				
	21	24	64	83,5						
	3	16	16	30,5						
13-14	7	10	66	198,1			3736,4	4092,9	3914,7	
	11	12	104	260,8	15,92	4152,0				
	8	11	68	187,8	17,68	3320,8				
14-13	18	13	114	278,6				4092,9	3914,7	
	13	12	104	257,4	15,90	4092,9				
	22	11	14	37,8						
	4	11	0	0,0						

Примечание. * $K_{сч}^*$ – коэффициент часа для перехода к среднегодовой суточной интенсивности движения в зависимости от времени начала (от 8 до 18 ч) и продолжительности (от 1 до 12 ч) проведения учета.

Таблица 2
Населенные пункты в транспортном коридоре
Источник: составлено авторами.

Table 2
Settlements in the transport corridor
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Наименование	Число жителей	Расстояние, км
1	Красноярск	1189569	0
2	Миндерла	2313	49
3	Шила	2074	64
4	Бартат	1435	84
5	Б. Мурта	7707	112
6	Таловка	1623	141
7	Мокрушенское	1482	189
8	Галанино	1617	200
9	Казачинское	5424	210
10	Шапкино	627	240
11	Новокаргино	944	273
12	Абалаково	1703	304
13	Лесосибирск	56921	324
14	Енисейск	20375	375

В таблице 3 представлены результаты расчетов пассажирских потоков и транспортных корреспонденций между населенными пунктами транспортного коридора. В верхней части таблицы дано среднегодовое суточное число поездок между населенными пунктами, рассчитанное по выражению (1). В нижней части таблицы приведена среднегодовая мощность суточных пассажирских потоков на перегонах между населенными пунктами, полученная расчетным путем по математической модели и определенная экспериментально. Определение коэффициента α выполнено с применением метода наименьших квадратов. Пассажирские потоки рассчитаны по выражению (9). Колонки 9 и 13 таблицы 3 из процесса калибровки исключены вследствие близкого расположения населенных пунктов, что не позволяет разделить междугородные потоки от

местного движения. Колонка 11 также не учитывалась вследствие отсутствия достоверных данных о численности населения.

Эпюра пассажирских потоков транспортного коридора дана на рисунке 3. Коэффициент детерминации составляет 0,82, т.е. 82% вариации зависимой переменной объясняется независимыми переменными в модели. Оставшиеся 18% можно отнести на счет факторов, не учтенных в рассматриваемой модели, а также погрешностей исходных данных. Одним из параметров модели, существенно влияющих на величину транспортного спроса, является число жителей населенных пунктов. В настоящее время для многих населённых пунктов доступна статистика только 15-летней давности. Это является существенной причиной расхождения между теоретическими и экспериментальными данными (см. таблицу 3).

Таблица 3
Результаты расчета пассажирских потоков транспортного коридора
 Источник: составлено авторами.

Table 3
Calculation results of passenger flows in the transport corridor
 Source: compiled by the authors.

№ п/п	Число жителей	Расстояние, км	Пассажирские корреспонденции, пасс./сут															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	1189569	0																
2	2313	49	1570,0															
3	2074	64	825,2	29,2														
4	1435	84	331,4	3,7	10,2													
5	7707	112	1001,3	6,2	9,5	19,3												
6	1623	141	133,0	0,6	0,8	1,0	20,4											
7	1482	189	67,6	0,2	0,3	0,3	2,6	1,4										
8	1617	200	65,9	0,2	0,2	0,2	2,2	1,0	27,1									
9	5424	210	200,4	0,7	0,7	0,7	6,0	2,5	25,0	120,2								
10	627	240	17,7	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,5	0,9	5,2							
11	944	273	20,6	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	0,4	1,8	0,7						
12	1703	304	30,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,3	0,3	1,4	0,4	2,3					
13	56921	324	883,7	2,4	2,4	2,4	13,4	3,8	6,3	8,2	32,5	6,9	28,3	332,0				
14	20375	375	236,1	0,6	0,6	0,6	3,1	0,8	1,2	1,5	5,6	1,0	2,5	9,4	610,9			
Перегон			1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14			
Пассажирские потоки, пасс./сут		Модель	5383	3857	3028	2706	1719	1573	1561	2882	1921	1270	1279	2459	874			
		Эксперимент	5083	3298	2689	3345	2255	2214	1950	2938	1921	1179	2954	2570	3915			

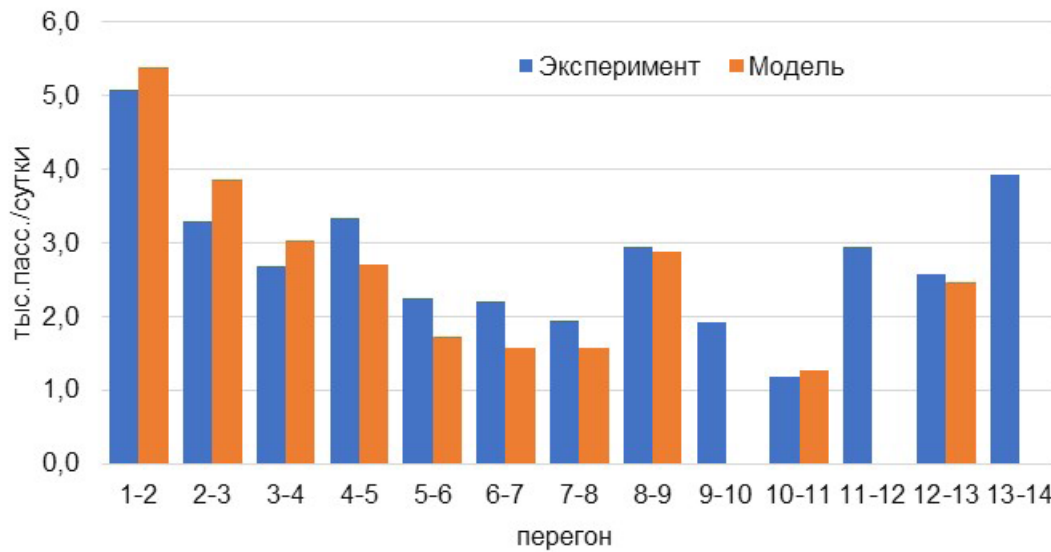


Рисунок 3 – Эпюра пассажирских потоков транспортного коридора
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – The plot of passenger flows in the transport corridor
Source: compiled by the authors.

Расчет суточной (для конкретного дня года) мощности пассажирских потоков предлагается осуществлять в соответствии с методическими рекомендациями по оценке пропускной способности автомобильных дорог:⁶

$$Q_d = 365Q_y K_n K_e / 4, \quad (13)$$

где Q_y – среднегодовая суточная мощность пассажирских потоков (таблицы 1, 3);

$K_n K_e$ – коэффициенты неравномерности движения соответственно по дням недели, месяцам года даны в упомянутых рекомендациях.

Аналогичным образом можно определить суточную мощность пассажирских корреспонденций

$$T_{ij}^d = 365T_{ij}^y K_n K_e / 4. \quad (14)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В связи с высоким социально-экономическим значением междугородных автобусных перевозок особую важность приобретает вопрос совершенствования транспортной систе-

мы с целью обеспечения соответствия спроса и предложения.

Одним из актуальных нерешенных до настоящего времени вопросов является определение потенциального (общего, насыщенного) транспортного спроса, т.е. теоретического количества поездок, которое возможно на сегменте рынка перевозок по междугородным автобусным регулярным маршрутам.

2. Задача расчета транспортного спроса рассматривалась во многих исследованиях, для ее решения применяются различные агрегированные и дезагрегированные математические модели.

3. Ключевой информацией для математической модели определения междугородного транспортного спроса является объем отправок и прибытий между населенными пунктами. Данная статистика доступна в основном для транспорта общего пользования. Информация об общем транспортном спросе, как правило, отсутствует. Для автодорожной сети объемы отправок зачастую рассчитываются как определенный процент от общего населения.

⁶ Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), М.: 2012. 148 с.

4. В настоящее время особую перспективу представляют методы изучения транспортного спроса, основанные на сборе, интеграции и анализе больших и разнородных данных, генерируемых различными источниками в пространствах жизнедеятельности человека. В рамках данного направления рассматривается применение системы видеонаблюдения транспортных средств для учета междугородных транспортных потоков.

С целью калибровки гравитационной математической модели транспортного спроса сформулирована система уравнений, связывающих корреспонденции между населенными пунктами и учитываемый пассажирский поток, который для населенных пунктов подразделяется на входящий, исходящий и транзитный.

5. При использовании видеонаблюдения транспортного средства в расчетах перемещение наблюдателя в пространстве учитывается посредством предложенного поправочного коэффициента. Объекты, учитываемые движущимся наблюдателем, будут доступны неподвижному наблюдателю через промежуток времени, который можно определить как отношение расстояния между наблюдателями к скорости объекта.

6. Предложенный в статье подход для учета транспортных и пассажирских потоков апробирован на изолированном транспортном коридоре, пассажиры по которому перевозятся автомобильным транспортом (автобус рейсовый и заказной, легковой автомобиль), другие виды транспорта (например, железнодорожный) отсутствуют.

Коэффициент детерминации математической модели позволяет сделать вывод о ее приемлемости, 18% вариации зависимой переменной можно отнести на счет неизвестных, скрытых параметров или статистических погрешностей модели.

7. Направления дальнейших исследований:

- исследовать механизм влияния параметров предложения транспорта общего пользования на спрос;

- разработать методику определения транспортного спроса в зависимости от параметров транспортного предложения;

- применение методов обработки видеозаписей для автоматизированного учета транспортных и пассажирских потоков по данным видеонаблюдения транспортных средств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Woldeamanuel M. Evaluating the competitiveness of intercity buses in terms of sustainability indicators. *Journal of Public Transportation*. 2012; Vol. 15, No. 3: 5. DOI:10.5038/2375-0901.15.3.5

2. Javid R., Sadeghvaziri E. Investigating the Relationship Between Access to Intercity Bus Transportation and Equity. *Transportation Research Record*, 2022, p. 03611981221088218. DOI: 10.1177/03611981221088218

3. Group K. Effective Approaches to Meeting Rural Intercity Bus Transportation Needs. Report 79, Transit Cooperative Research Program. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2002. 184 p. DOI: 10.5038/2375-0901.15.3.7

4. Nielsen G., Lange T. Network design for public transport success—theory and examples. Norwegian Ministry of Transport and Communications, Oslo, 2008. 30 p.

5. Ryan F., Allard R.F., Moura F. The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning, *Transport Reviews*, 2015, DOI: 10.1080/01441647.2015.1059379

6. Ortuzar J.D., Willumsen L.G.. *Modelling transport*. John Willey & Sons, 2011. 586 p. DOI: 10.1002/9781119993308

7. Alderighi M., Cento, A., Nijkamp, P., Rietveld, P. Network competition – the coexistence of hub-and-spoke and point-to-point systems. *Journal of Air Transport Management*. 2005; 11(5): 328–334. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2005.07.006

8. Alderighi M, Feder C, Nijkamp P, Ungureanu EI Simple pricing rules in complex air transport systems. *Handbook on Entropy, Complexity and Spatial Dynamics: A Rebirth of Theory?* Chapter 18. 2021: pp. 304 – 320. DOI: 10.4337/9781839100598.00027

9. Merrina A., Sparavigna A., Wolf R. A. The intermodal networks: A survey on intermodalism. *World Review of Intermodal Transport Research*. 2007; 1(3): 286–299.

10. Ranjbari A., Hickman M., Chiu YC. A Mathematical Optimization Model for Solving the Intercity Transit Network Design Problem // CASPT 2018 Extended Abstract. Режим доступа: http://www.caspt.org/wp-content/uploads/2018/10/Papers/CASPT_2018_paper_128.pdf. (дата обращения: 22.05.2023).

11. Sunhyung Yoo, Jinwoo Brian Lee, and Hoon Han. A reinforcement learning approach for bus network design and frequency setting optimization // *Public Transport*. 2023: pp 1–32. DOI: 10.1007/s12469-022-00319-y

12. Корягин М.Е., Чистяков А.С. База данных для описания рынка междугородных пассажирских перевозок // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2021. № 1(56). С. 38–45. DOI:10.52170/1815-9262-2021-56-38

13. Макарова Е.А., Елизаров С.Б., Муктепавел С.В. Автоматизированная система прогнозирования пассажирских транспортных потоков на базе АСУ «Экспресс» // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. 2011. № 4. С. 21–27. EDN NYHLZT.

14. Grosche Tobias, Rothlauf Franz, Heinzl Armin. Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*. 2007. 13:175-183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001
15. Birolini Sebastian, Pais Antunes António, Cattaneo Mattia, Paleari Stefano. Integrated flight scheduling and fleet assignment with improved supply-demand interactions. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2021. 149. 162-180. DOI: 10.1016/j.trb.2021.05.001
16. Штоцкая А.А., Михайлов А.Ю. Оценка транспортной подвижности населения на основе дезагрегированных моделей // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2017. Т. 21, № 5(124). С. 199–207. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-199-207. EDN YPLMWZ.
17. Ibarra-Rojas O., J., Delgado R. Giesen, Muñoz J.C.. Planning, Operation, and Control of Bus Transport Systems: A Literature Review. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. 77: 38-75. DOI: 10.1016/j.trb.2015.03.002
18. Grigorova T., Davidich Yu., Dolya V. Assessment of Elasticity of Demand for Services of Suburban Road Passenger Transport // *Technology Audit and Production Reserves*. 2015. Vol. 3, No 2. P. 13–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44768/
19. Wang Sen, Gao Yi. A literature review and citation analyses of air travel demand studies published between 2010 and 2020. *Journal of Air Transport Management*. 2021.79. 102135. DOI:10.1016/j.jairtraman.2021.102135
20. Lu M., Zhu H., Luo X., & Lei, L. Intercity travel demand analysis model. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015. 6. DOI: 10.1155/2014/108180
21. N. Dike Declan, Ejem Ejem, Erumaka Onyinyechi, Chukwu Oluchi Ibe, Callistus. Estimation of inter-city travel demand for public road transport in Nigeria. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2018. 3. 88-98. DOI: 10.14254/jstl.2018.3-3.7
22. Chistyakov A., Koryagin M. Interurban Travel Mode Choice Model Which Based on Departures Frequency and Passengers' Preferences. *International-Scientific Siberian Transport Forum*. Springer, Cham, 2021. P. 964-973. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_105
23. Jingxu Chen, Zhiyuan Liu, Senlai Zhu, Wei Wang. Design of limited-stop bus service with capacity constraint and stochastic travel time // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2015; Volume 83: 1-15. DOI: org/10.1016/j.tre.2015.08.007
24. Доля К.В. Формализация гравитационной модели для расчета параметров междугородних пассажирских корреспонденций // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 5. С. 437–443. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-437-443
25. Нурминский Е. А., Пугачев И.Н., Шамрай Н.Б., Седюкевич В.Н. Определение пассажиропотоков в региональной транспортной системе на основе модифицированных гравитационных моделей // *Наука и техника*. 2015. № 5. С. 39–45. EDN UMFMTL.
26. Горбачев П.Ф., Крикун В.И., Акбар Д.П. Моделирование спроса на перевозку пассажиров в пригородном сообщении // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Т. 2, № 3(62). С. 12–15. EDN QAJHHZ.
27. Фадеев А.И., Ильянков А.М. Управление транспортным предложением на регулярных междугородных автобусных линиях // *Вестник СибАДИ*. 2023; 20(5): 632-648. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-5-632-648
28. Kinene Alan, Birolini Sebastian. Optimization of subsidized air transport networks using electric aircraft. *Transportation Research Part B Methodological*. 2024. 190. 103065. DOI: 10.1016/j.trb.2024.103065
29. Grosche Tobias, Rothlauf Franz, Heinzl Armin. Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*. 2007. 13. 175-183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001
30. Аземша С.А., Скирковский С.В., Горев А.Э. Установление закономерностей в изменении объема пассажирских перевозок от численности жителей населенного пункта // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 5(76). С. 206–216. 10.23968/1999-5571-2019-16-5-206-216. EDN KFKQMX.
31. Zulkarnain Ahnis, Pasaribu Hisar, Sembiring, Javensius. An Estimating Air Travel Demand in North Sumatra Using Gravity Model Approach with Economic and Route Analysis. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*. 2025. 18. 1-12. DOI: 10.54147/langitbiru.v18i1.1284
32. Акулов В.В. Анализ методов учёта интенсивности движения на автомобильных дорогах // *Вестник евразийской науки*. 2012. №4 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-uchyota-intensivnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah> (дата обращения: 28.05.2025).
33. Хусаинов Р.М., Талипов Н.Г., Катасёв А.С., Шалаева Д.В. Интеллектуальная система анализа транспортных потоков в автоматизированных системах управления дорожным движением // *Программные продукты и системы*. 2024. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-analiza-transportnyh-potokov-v-avtomatizirovannyh-sistemah-upravleniya-dorozhnym-dvizheniem> (дата обращения: 31.05.2025).
34. Zheng Y., Capra L., Wolfson O., Yang H. Urban computing: Concepts, methodologies, and applications // *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 5, no. 3 - pp. 1–55, Sep. 2014 DOI:10.1145/2629592
35. Chen M., Mao Sh., Zhang Y., Victor C.M. *Leung Big Data. Related Technologies // Challenges, and Future Prospects*, Spinger, 2014. 100 p.
36. Трегубов В.Н. Использование информации сотовых операторов в городских транспортных исследованиях // *Транспортные системы и технологии*. 2020. Т. 6, № 2. С. 20–33. DOI: 10.17816/transsyst20206220-33. EDN UJIRSG.

REFERENCES

1. Woldeamanuel M. Evaluating the competitiveness of intercity buses in terms of sustainability indicators. *Journal of Public Transportation*. 2012; Vol. 15, No. 3: 5. DOI:10.5038/2375-0901.15.3.5

2. Javid R., Sadeghvaziri E. Investigating the Relationship Between Access to Intercity Bus Transportation and Equity. *Transportation Research Record*, 2022, p. 03611981221088218. DOI: 10.1177/03611981221088218
3. Group K. Effective Approaches to Meeting Rural Intercity Bus Transportation Needs. Report 79, Transit Cooperative Research Program. *Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.*, 2002. 184 p. DOI: 10.5038/2375-0901.15.3.7
4. Nielsen G., Lange T. Network design for public transport success—theory and examples. Norwegian Ministry of Transport and Communications, Oslo, 2008. 30 p.
5. Ryan F., Allard R. F., Moura F., The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity *Transport Planning, Transport Reviews*, 2015, DOI: 10.1080/01441647.2015.1059379
6. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. Modeling transport John Willey & Sons, 2011. 586 p. DOI: 10.1002/9781119993308
7. Alderighi M., Cento, A., Nijkamp, P., Rietveld, P. Network competition – the coexistence of hub-and-spoke and point-to-point systems. *Journal of Air Transport Management*. 2005; 11(5): 328–334. DOI:10.1016/j.jairtraman.2005.07.006
8. Alderighi M, Feder C, Nijkamp P, Ungureanu EI Simple pricing rules in complex air transport systems. Handbook on Entropy, Complexity and Spatial Dynamics: A Rebirth of Theory? Chapter 18. 2021: pp. 304 – 320 DOI: 10.4337/9781839100598.00027
9. Merrina A., Sparavigna, A., Wolf, R. A. The intermodal networks: A survey on intermodalism. *World Review of Intermodal Transport Research*. 2007; 1(3): 286–299.
10. Ranjbari A., Hickman M., Chiu YC. A Mathematical Optimization Model for Solving the Intercity Transit Network Design Problem // CASPT 2018 Extended Abstract. Available at: http://www.caspt.org/wp-content/uploads/2018/10/Papers/CASPT_2018_paper_128.pdf. (accessed 25th May 2025)
11. Sunhyung Yoo, Jinwoo Brian Lee, and Hoon Han. A reinforcement learning approach for bus network design and frequency setting optimization. *Public Transport*. 2023; pp 1–32. DOI: 10.1007/s12469-022-00319-y
12. Korjagin M.E., Chistjakov A.S. Baza dannyh dlja opisaniya rynka mezhdugorodnyh passazhirskih pere-vozok [Long Distance Passenger Market Description Database]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*. 2021; 1(56): 38–45. (in Russ.) DOI: 10.52170/1815-9262-2021-56-38
13. Makarova E.A., Elizarov S.B., Muktepa-vel S.V. Avtomatizirovannaja sistema prognozirovaniya passazhirskih transportnyh potokov na baze ASU «Jek-spress» [Automated system for forecasting passenger traffic flows based on ACS “Ex-press”]. *Vestnik nauch-no-issledovatel'skogo insti-tuta zheleznodorozhnogo transporta*. 2011; 4: 21–27. (in Russ.) – EDN NYHLZT.
14. Grosche Tobias , Rothlauf, Franz, Heinzl, Armin. Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*. 2007. 13. 175-183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001
15. Birolini S., Pais A. A, Cattaneo M., Paleari S. Integrated flight scheduling and fleet assignment with improved supply-demand interactions. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2021. 149. 162-180. DOI: 10.1016/j.trb.2021.05.001
16. Shtotskaya A.A., Mikhailov A.Yu. Assessment of transport mobility of the population on the basis of disaggregated models. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2017. Vol. 21. No. 5. P. 199–207. (in Russ.) DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-199-207
17. Ibarra-Rojas, O., J., Delgado, R. Giesen, and J.C. Muñoz. Planning, Operation, and Control of Bus Transport Systems: A Literature Review. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. 77: 38-75. DOI: 10.1016/j.trb.2015.03.002
18. Grigороva T., Davidich Yu., Dolya V. Assessment of Elasticity of Demand for Services of Suburban Road Passenger Transport . *Technology Audit and Production Reserves*. 2015. Vol. 3, No 2. P. 13–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44768/
19. Wang Sen, Gao Yi. A literature review and citation analyses of air travel demand studies published between 2010 and 2020. *Journal of Air Transport Management*. 2021. 79. 102135. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2021.102135
20. Lu M., Zhu H., Luo X., Lei, L. Intercity travel demand analysis model. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015. 6. DOI: 10.1155/2014/108180
21. N. Dike, Declan, Ejem Ejem, Erumaka Onyinyechi, Chukwu, Oluchi, Ibe, Callistus. Estimation of inter-city travel demand for public road transport in Nigeria. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2018. 3. 88-98. DOI:10.14254/jss-dtl.2018.3-3.7.
22. Chistyakov A., Koryagin M. Interurban Travel Mode Choice Model Which Based on Departures Frequency and Passengers' Preferences. *International-Scientific Siberian Transport Forum*. Springer, Cham, 2021. P. 964-973.
23. Jingxu Chen, Zhiyuan Liu, Senlai Zhu, Wei Wang. Design of limited-stop bus service with capacity constraint and stochastic travel time. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2015; Volume 83: 1-15. DOI: 10.1016/j.tre.2015.08.007
24. Dolya C.V. Gravity Model Formalization for Parameter Calculation of Intercity Passenger Transport Correspondence. *Science and Technique*. 2017. 16 (5), 437–443. (in Russ.) DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-437-443
25. Nurminskij E.A., Pugachev I. N., Shamraj N. B., Sedjukevich V. N. Opredelenie passazhiropotokov v regional'noj transportnoj sisteme na osnove modifitsirovannyh gravitacionnyh modelej [Determination of passenger traffic in the regional transport system on the basis of modified gra-vital models]. *Nauka i tehnika*. 2015; 5. 2015: 39 – 45. (in Russ.) EDN UMFMTL.
26. Gorbachev P.F., Krikun V.I. Modelirovanie sprosa na perevozku passazhirov v prigorodnom soobshhenii [Modeling Demand for Commuter Transportation]. *VEZhPT*. 2013; 3(62):12–15. (in Russ.) EDN QAJHHZ.
27. Fadeev A.I., Ilyankov A.M. Transport supply management on regular intercity bus lines. *The*

Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2023;20(5):632-648. (In Russ.) DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-5-632-648. EDN: WMBMDI

28. Kinene A., Birolini S. Optimization of subsidized air transport networks using electric aircraft. *Transportation Research Part B Methodological*. 2024. 190. DOI: 103065. 10.1016/j.trb.2024.103065

29. Grosche T., Rothlauf F., Heinzl A. Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*. 2007. 13. 175-183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001

30. Azemsha S.A., Skirkovskiy S.V., Gorev A.E. Determining the regularities in the change of the passenger traffic volume from the number of inhabitants of the settlement. *Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 5 (76), pp. 206-216. – EDN KFKQMX. (in Russ.)

31. Zulkarnain A., Pasaribu H., Sembiring J. An Estimating Air Travel Demand in North Sumatra Using Gravity Model Approach with Economic and Route Analysis. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*. 2025. 18. 1-12. DOI: 10.54147/langitbiru.v18i1.1284

32. Akulov V.V. Analysis of the accounting methods of traffic on the roads. *Naukovedenie*. 2012;(4): 1TPГCY412. Available at: <https://naukovedenie.ru/PD-F/1trgsu412.pdf> (accessed 25th May 2025). (In Russ., abstract in Eng.)

33. Khusainov R.M., Talipov N.G., Kataev A.S., Shalaeva D.V. Intelligent traffic flow analysis system in automated traffic management systems. *Software products and systems*. 2024. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-analiza-transportnyh-potokov-v-avtomatizirovannyh-sistemah-upravleniya-dorozhnym-dvizheniem> (accessed 31th May 2025). (in Russ.)

34. Zheng Y., Capra L., Wolfson O., Yang H. Urban computing: Concepts, methodologies, and applications. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 5, no. 3 - pp. 1–55, Sep. 2014 DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2629592>

35. Chen M., Mao Sh., Zhang Y., Leung Victor C.M. Big Data. Related Technologies. *Challenges, and Future Prospects*, Springer, 2014. 100 p.

36. Tregubov V.N. Mobile Data Usage in Urban Transport Research. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):20-33. (in Russ.) DOI: 10.17816/transysyst20206220-33

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фадеев А.И. Постановка задачи, разработка математической модели планирования перевозок

по междугородной регулярной автобусной линии, программное обеспечение, формулирование заключения.

Ильянков А.М. Участие в подготовке исходных данных и расчетах, обзор литературных источников.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Fadeyev A.I. Problem statement, mathematical model development of transportation planning on intercity scheduled bus line, software provision, formulation of the conclusion.

Ilyankov A.M. Participation in initial data preparation and calculations, literature review.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фадеев Александр Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660062, г. Красноярск, пр. Свободный, 79).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN-code: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru

Ильянков Алексей Михайлович – аспирант кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660062, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, стр. 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN-code: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fadeev Alexandr I. – Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Transport Department, Siberian Federal University (79, Krasnoyarsk, 660062).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN-code: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru

Ilyankov Aleksey M. – Postgraduate student, Transport Department, Siberian Federal University (79, Krasnoyarsk, 660062).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN-code: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru