



УДК 656.1

UDC 656.1

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ПО ДАННЫМ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

MANAGEMENT OF PASSENGER TRANSPORTATION PROCESSES BASED ON TRANSPORT FLOW PARAMETERS

Семкин Александр Николаевич, к.т.н., генеральный директор ЗАО «Группа компаний «Навигатор», г. Орел, e-mail: nvg@nvg-group.ru

Semkin Aleksandr Nikolayevich, candidate of technical sciences, NAVIGATOR Group of Companies, CJSC (GK NAVIGATOR, CJSC), Orel, e-mail: nvg@nvg-group.ru

✉¹ **Бодров Андрей Сергеевич**, к.т.н., эксперт Ассоциации по развитию цифровых технологий транспорта «Цифровая Эра Транспорта», г. Москва, e-mail: bodrov57@gmail.com

✉¹ **Bodrov Andrei Sergeevich**, candidate of technical sciences, expert of the Digital Era of Transport Association for the Development of Digital Transport Technologies, Moscow, e-mail: bodrov57@gmail.com

Аннотация. Широкое внедрение интеллектуальных транспортных систем в нашей стране способствует появлению новых методов управления транспортной инфраструктурой, в том числе и городским пассажирским транспортом общего пользования. В статье приводятся сведения о разработке алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основании параметров транспортного потока. Приведены теоретические основы разработки алгоритма управления, а также результаты его тестирования.

Annotation. The widespread introduction of intelligent transport systems in our country is contributing to the development of new methods for managing transport infrastructure, including public passenger transport. This article provides information on the development of an algorithm for managing passenger transportation processes based on traffic flow parameters. It also includes theoretical foundations for developing the algorithm and the results of its testing.

Ключевые слова: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНЫЕ ПОТОКИ.

Keywords: INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS, URBAN PASSENGER TRANSPORT, TRANSPORT FLOWS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Повышению эффективности эксплуатации городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП) посвящено множество научных трудов как отечественных, так и зарубежных исследователей [1-3]. Основой управления процессами перевозки пассажиров ГПТОП является метод ситуационного управления, приведенный в работах В.М. Курганова [4], который указывает, что основой для ситуационного управления перевозкой пассажиров

является исходная информация о параметрах функционирования ГПТОП. Ранее для получения исходной информации о параметрах функционирования ГПТОП требовалось проведение обширных и трудоемких натурных обследований [5]. Однако с широким внедрением интеллектуальных транспортных систем (ИТС) процесс получения исходной информации о режимах функционирования ГПТОП стал более автоматизированным и оперативным.

Так, в рамках цифровизации управления ГПТОП, В. М. Власов разработал концептуальные основы диспетчеризации пассажирского транспорта посредством спутниковой навигации [6]. Также в ГПТОП нашли широкое применение автоматизированные системы учёта пассажиропотоков [7] и технологии искусственного интеллекта [8].

В соответствии с распоряжением Министерства транспорта РФ № АК-95-р [9] ИТС в нашей стране реализуются в основном в границах городских агломераций. Причем наиболее пристальное внимание уделяется развитию инструментальных подсистем мониторинга и управления дорожным движением. Особый интерес для оптимизации расписания движения ГПТОП имеет инструментальная подсистема мониторинга параметров транспортного потока (ПМПТП).

Поэтому целью исследований является разработка алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров транспортного потока (ТП). Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- разработать алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров ТП;
- провести тестирование разработанного алгоритма.

2 Материалы и методы

В основе разрабатываемого алгоритма лежит общеизвестная методика определения времени оборотного рейса [10], которое включает в себя время движения и время отстоя на конечных остановочных пунктах (ОП). В нашем случае наибольший интерес с точки зрения управления процессами перевозки пассажиров представляет время движения ГПТОП на маршруте, которое определяется по формуле:

$$t_p = t_{дв} + t_{ос} + t_{пер} + t_{сл} + t_{вын}, \quad (1)$$

где $t_{дв}$ – время, затрачиваемое непосредственно на движение, мин; $t_{ос}$ – время, затрачиваемое на стоянки на ОП, мин; $t_{пер}$ – задержки ГПТОП на перекрестках, мин; $t_{сл}$ – случайные задержки, мин; $t_{вын}$ – вынужденный простой ГПТОП перед ОП, мин.

ПМПТП предназначена для определения скорости ТП при помощи детекторов транспорта. Исходя из назначения этой инструментальной подсистемы, можно сделать вывод о том, что для определения времени прохождения ГПТОП участка маршрута необходимо получение данных от ПМПТП о текущей скорости движения ТП (если ГПТОП движется в общем ТП) или текущей скорости ГПТОП (если имеются выделенные полосы движения для ГПТОП). Необходимо отметить, что в соответствии с требованиями [11] ПМПТП определяет среднюю скорость ТП.

Средняя скорость прохождения перегона ГПТОП определяется по формуле:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \times l_i \times V_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \times l_i)}, \quad (2)$$

где l_i – протяженность i -го участка дороги, км; m_i – количество полос движения в одном направлении i -го участка дороги, ед.; V_i – текущая скорость ГПТОП, км/ч.

Тогда среднее время прохождения перегона составит:

$$\bar{t}_{пер} = \frac{l_i}{\bar{V}_s}. \quad (3)$$

Данный метод не позволяет определять интервалы движения, т.к. детекторы транспорта не осуществляют выявление конкретных транспортных средств, а производят мониторинг всего ТП.

Кроме определения времени движения ГПТОП на перегонах маршрута для нахождения времени обратного рейса необходимо знать время стоянки ГПТОП на j -ом ОП, которое определяется по формуле:

$$t_{j\text{ см.п}} = t_{j\text{ откр}} + t_{j\text{ закр}} + t_{j\text{ пас}} \times N_j + t_{j\text{ зад}}, \quad (4)$$

где $t_{j\text{ откр}}$ – время открытия двери ГПТОП, с; $t_{j\text{ закр}}$ – время закрытия двери ГПТОП, с; $t_{j\text{ пас}}$ – время посадки или высадки одного пассажира ГПТОП, с; N_j – количество пассажиров, чел; $t_{j\text{ зад}}$ – время задержки между высадкой и посадкой пассажиров, с.

В работе [12] определено, что время для входа и выхода пассажира можно принимать равным 1,5 с, т. е. $t_{\text{пас}}=1,5$ с. Время открытия и закрытия дверей также примерно равны и составляют 1,8 с, т. е. $t_{\text{откр}}=t_{\text{закр}}=1,8$ с. А время задержки между высадкой и посадкой составляет $t_{\text{зад}}=2$ с.

Время отстоя ГПТОП на конечных ОП должно быть не менее 5 % от общей линейной продолжительности работы водителя.

На основании приведенных данных выражение для определения времени обратного рейса примет следующий вид:

$$T_{об}^{мл} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\bar{V}_s} + \sum_{j=1}^k (t_{j\text{ откр}} + t_{j\text{ закр}} + t_{j\text{ пас}} \times N_j + t_{j\text{ зад}}) + t_o. \quad (5)$$

где t_o – время отстоя ПС после выполнения рейса, с; k – число ОП на маршруте, ед.

Тогда численность единиц ГПТОП на маршруте определяется по формуле:

$$A_M = \frac{T_{об} \times 60}{I} = \frac{2 \times L_M}{V_{\text{Э}} \times I} = \frac{2 \times L_M \times Q_{ij\text{max}}}{V_{\text{Э}} \times q_{\text{расч}} \frac{Q_{ij\text{max}}}{T_{об} \times q_{\text{расч}}}}, \quad (6)$$

где $Q_{ij\text{max}}$ – максимальный пассажиропоток на участке маршрута, пасс./ч; I – интервал движения ГПТОП, ч; $T_{об}$ – время обратного рейса, ч; L_M – протяженность маршрута, км; $V_{\text{Э}}$ – эксплуатационная скорость ПС, км/ч; $q_{\text{расч}}$ – расчётная вместимость единицы ГПТОП, пасс.

Маршрутная сеть городских агломераций представляет собой совокупность маршрутов движения ГПТОП. В связи с этим возникает вероятность прохождения различных маршрутов через один и тот же ОП. Данный фактор, оказывает влияние на составление маршрутного расписания для ГПТОП, имеющих общие ОП. В данном случае, интервалы движения ГПТОП на совмещенных участках должны равны между собой или быть кратны наименьшему интервалу движения:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I_n, \\ I_n &= K \times I_{\text{min}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $I_1, I_2, I_n, I_{\text{min}}$ – интервалы движения на маршруте, мин.; K – коэффициент кратности, целое положительное число.

Соответственно, разность времени оборотных рейсов должна быть равна наименьшему интервалу или быть ему кратной:

$$T_{об} = (2t_{p1} + t_{o1}) - (2t_{p2} + t_{o2}) = K \cdot I_{min}, \quad (8)$$

где t_{p1} , t_{p2} – продолжительность рейса на согласуемых маршрутах, мин.; t_{o1} , t_{o2} – продолжительность отстоя ПС после выполнения рейса на согласуемых маршрутах, мин.

Для соблюдения приведенных в выражениях (7) и (8) требований в предложенном алгоритме предусмотрена проверка оптимальности по коэффициенту кратности интервалов движения по следующей формуле:

$$K = \frac{(2t_{p1} + t_{o1}) - (2t_{p2} + t_{o2})}{I_{min}}. \quad (9)$$

Наряду с ПМПТП, алгоритм предусматривает получение информации ещё от двух инструментальных подсистем:

- подсистемы мониторинга перемещения ГПТОП (ПМПТОТ), предоставляющей информацию о маршруте движения и нахождении на маршруте ГПТОП;
- подсистемы управления маршрутами ГПТОП (ПУМОТ), предоставляющую информацию о пассажиропотоках на маршруте.

3 Результаты исследований

На основании проведенных теоретических исследований был разработан алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основании параметров ТП (рис. 1), в котором также предусмотрено выявление режима функционирования ИТС, основанное на определении отклонения текущего уровня обслуживания дорожного движения (ДД) от среднестатистических значений (уровни А...D) [11]. Обработка данных, полученных от ПМПТП, ПУМОТ и ПМПТОТ, производится на уровне интеграционной платформы ИТС (ИП ИТС) Орловской городской агломерации (ОГА).

В качестве методики тестирования предложенного алгоритма применялось сравнение значений времени прохождения участка маршрута ГПТОП, определяемое при помощи предложенного алгоритма, а также методом натурального обследования.

Проведение эксперимента производилось на участке улично-дорожной сети (УДС) ОГА: г. Орел, ул. Приборостроительная.

Определение времени прохождения перегона при помощи предложенного алгоритма производилось в следующей последовательности:

- определялась скорость ТП на перегоне при помощи детектора транспорта «Смарт-роад TMS.13-T25»;
- определялось время прохождения перегона по формуле (3).

Получение исходной информации о параметрах ТП и дальнейшая обработка полученных данных производилась при помощи специализированного программного обеспечения «Навигатор ИТС» и «Навигатор С2020», на уровне ИП ИТС Орловской городской агломерации.

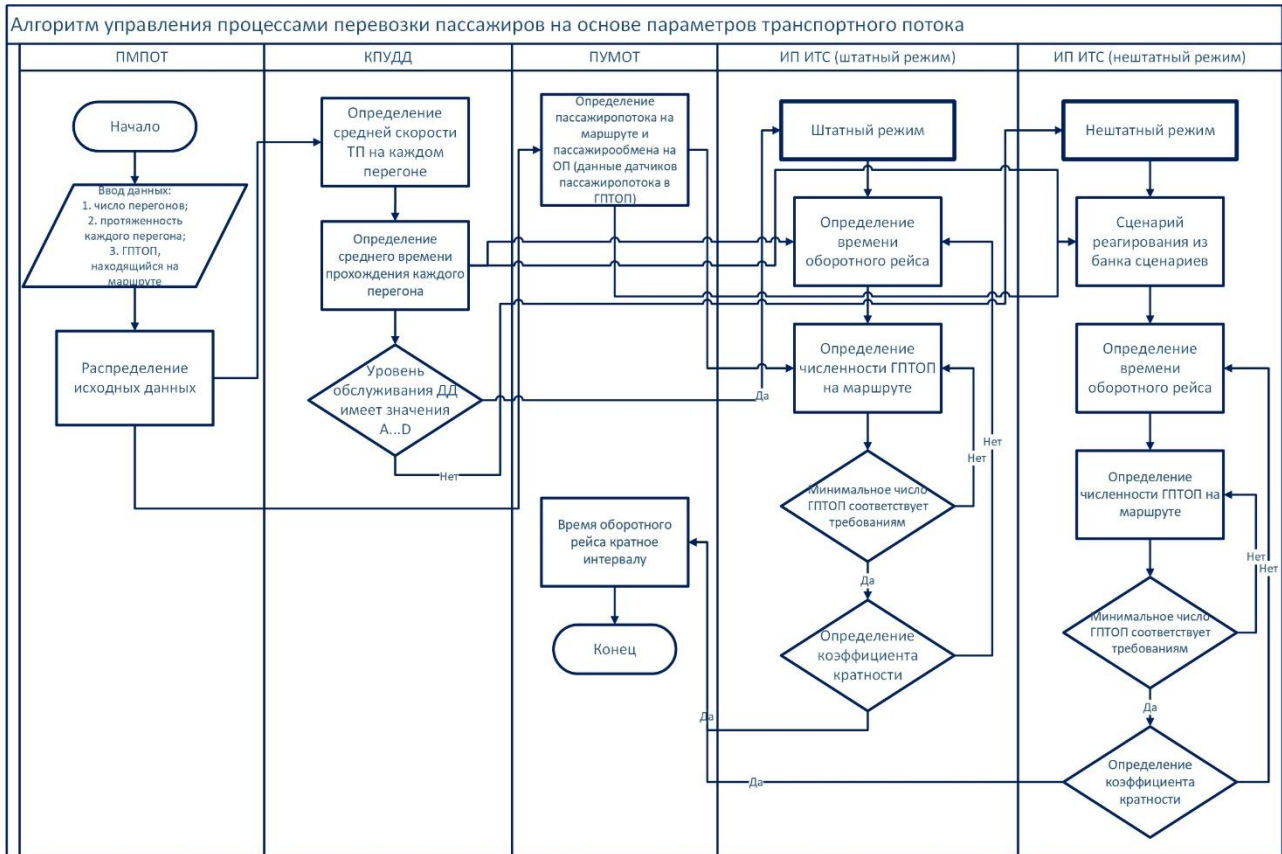


Рисунок 1 – Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основании параметров ТП

Исследования параметров ТП производилось по нескольким временным периодам (рис. 2-9).

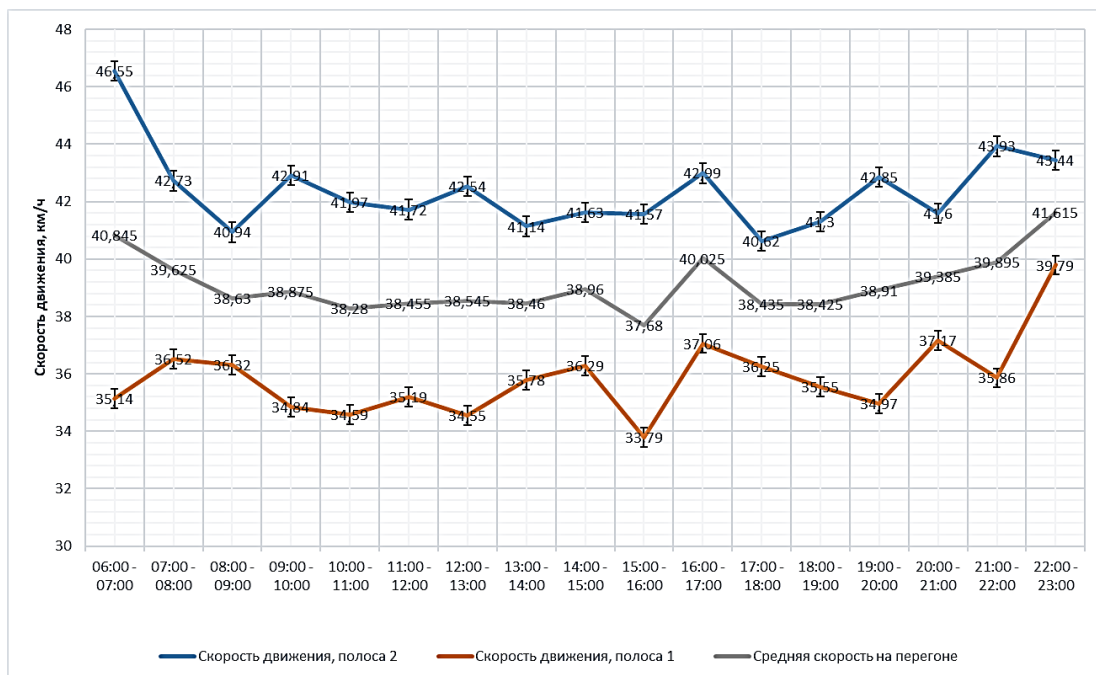


Рисунок 2 – Исследование скорости ТП на ул. Приборостроительная УДС ОГА 22.03.2024г. (будний день)

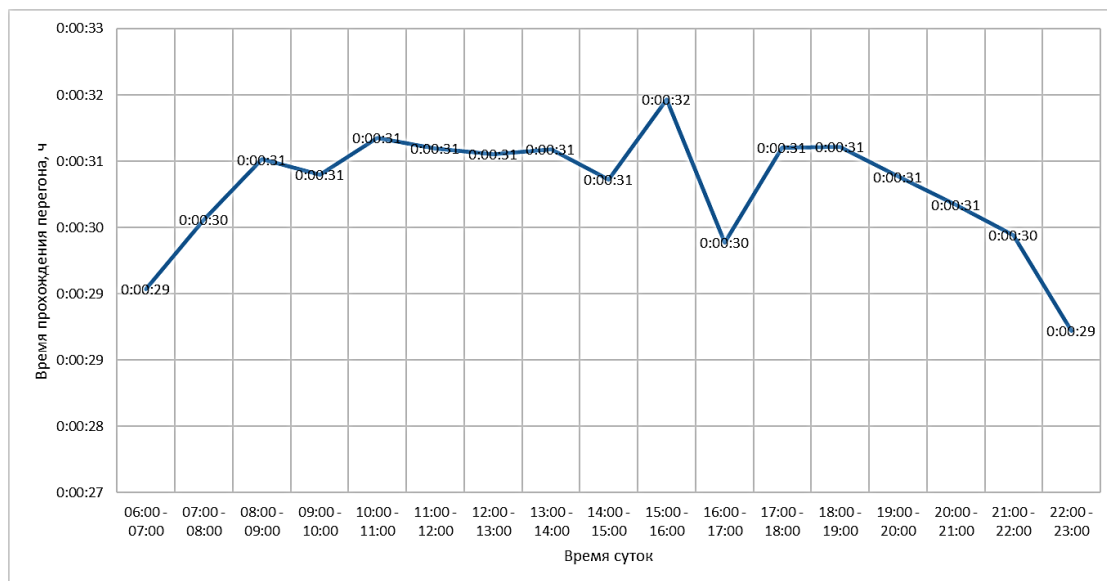


Рисунок 3 – Время прохождения перегона ул. Приборостроительная УДС ОГА 22.03.2024г. (будний день), определенное по формуле (3)

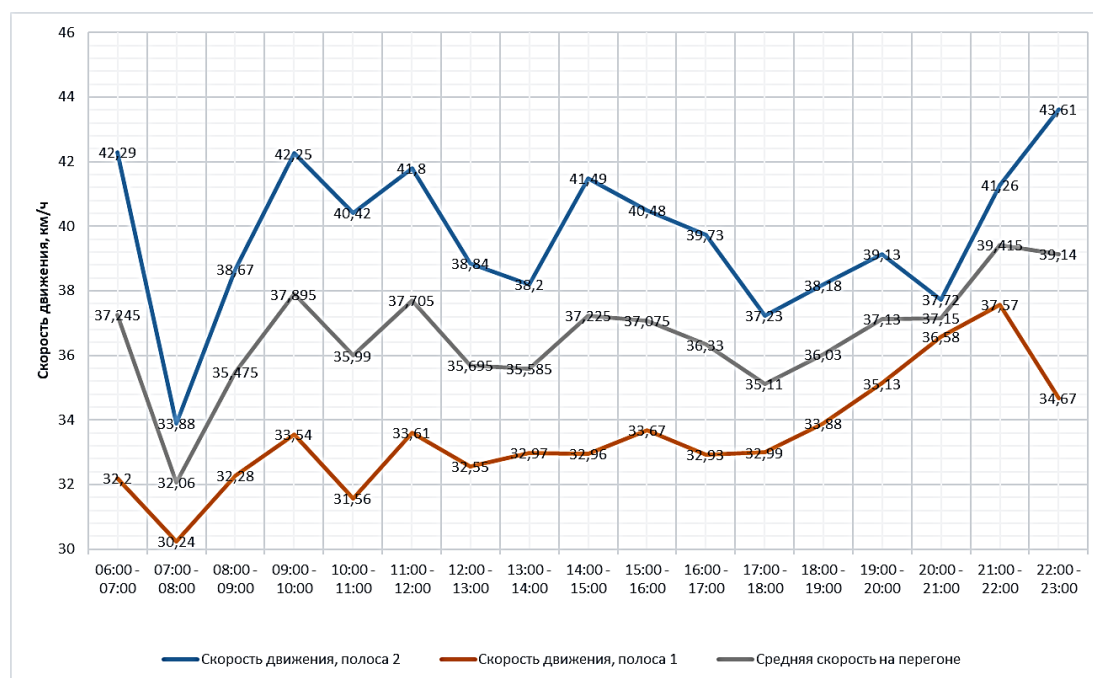


Рисунок 4 – Исследование скорости ТП на ул. Приборостроительная УДС ОГА 26.03.2024г. (будний день)

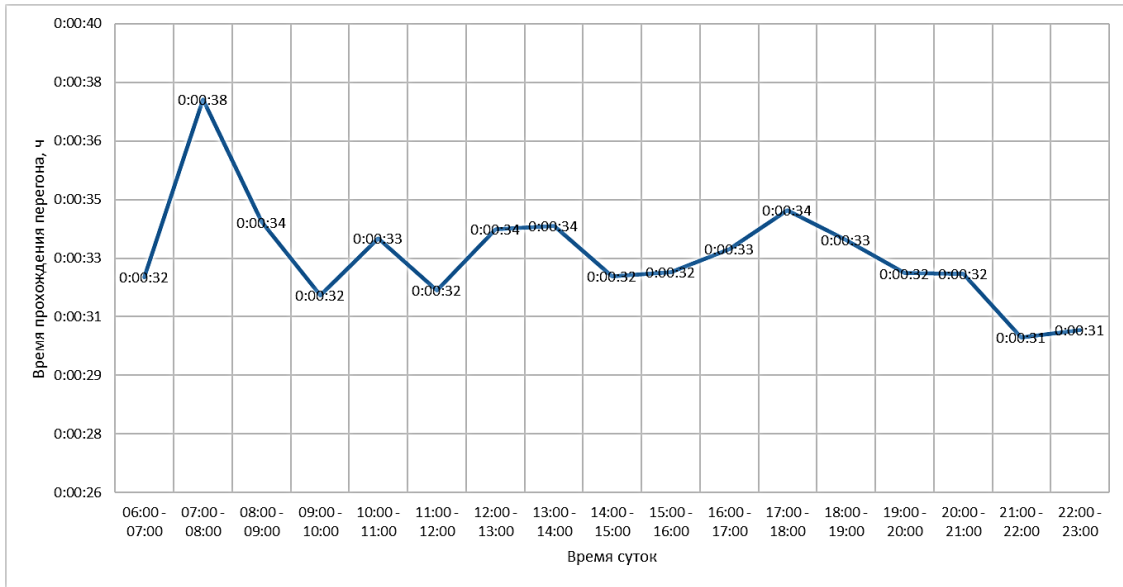


Рисунок 5 – Время прохождения перегона ул. Приборостроительная УДС ОГА 26.03.2024г. (будний день), определенное по формуле (3)

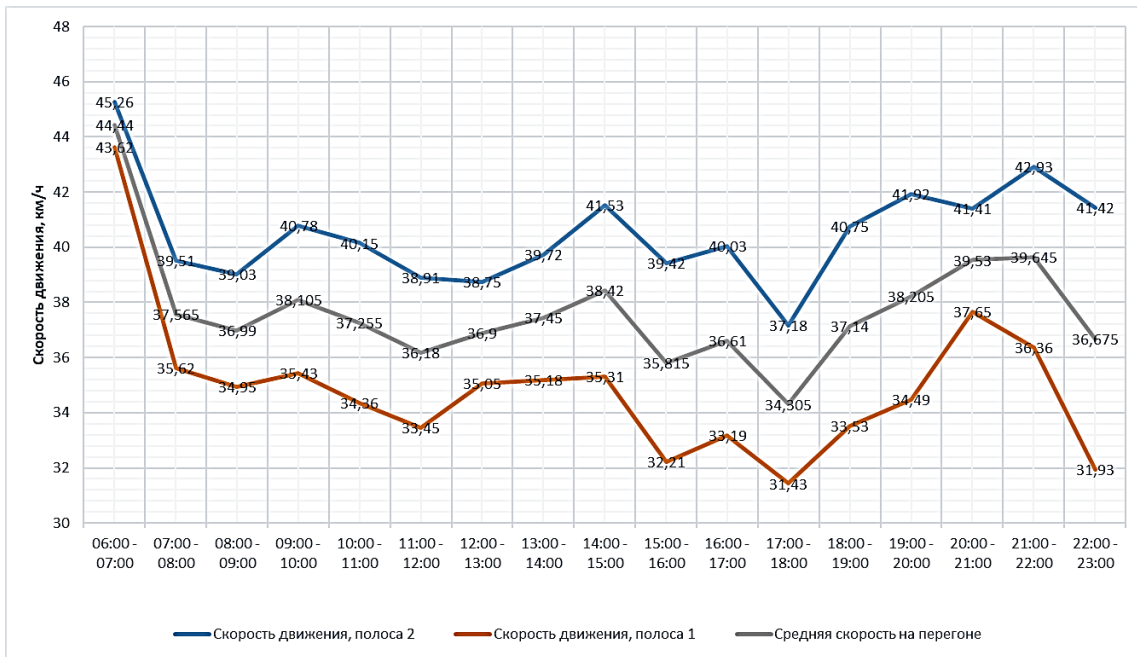


Рисунок 6 – Исследование скорости ТП на ул. Приборостроительная УДС ОГА 10.04.2024г. (будний день)

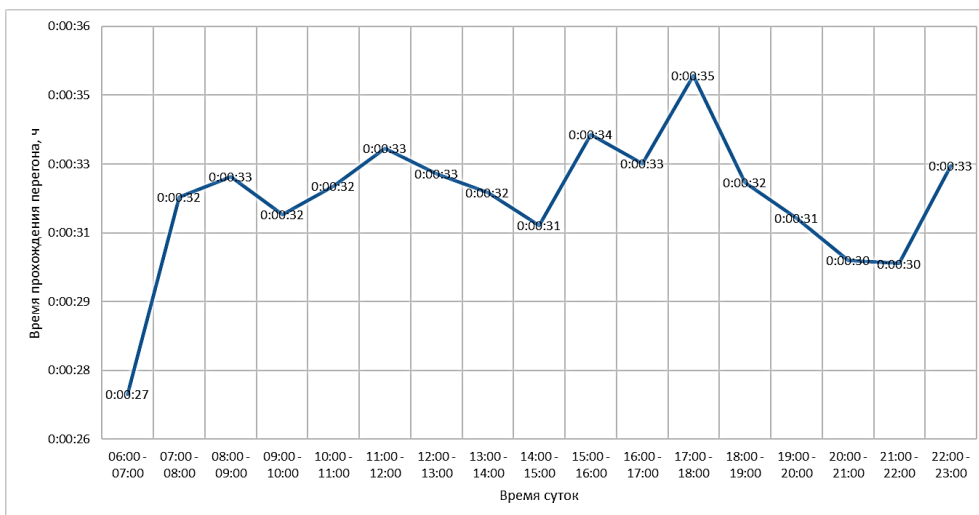


Рисунок 7 – Время прохождения перегона ул. Приборостроительная УДС ОГА 10.04.2024г. (будний день), определенное по формуле (3)

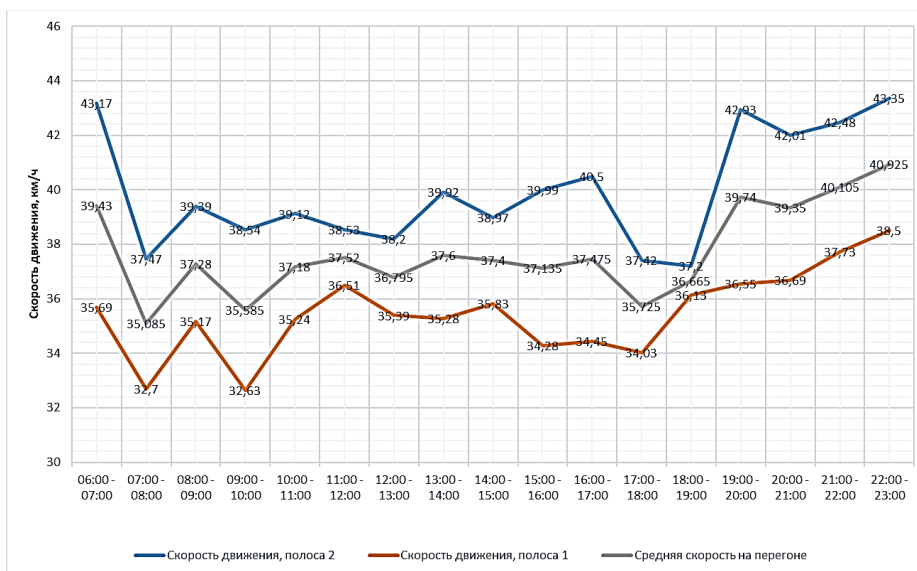


Рисунок 8 – Исследование скорости ТП на ул. Приборостроительная УДС ОГА 02.05.2024г. (выходной день)

Определение времени прохождения перегона методом натурного обследования осуществлялось на вершинах графа анализируемого перегона, в которых производился замер фактического времени отправления ГПТОП от начальной вершины графа и времени прибытия в конечную вершину анализируемого перегона.

На основании полученных экспериментальных данных определялось время прохождения перегона посредством заполнения табл. 1.

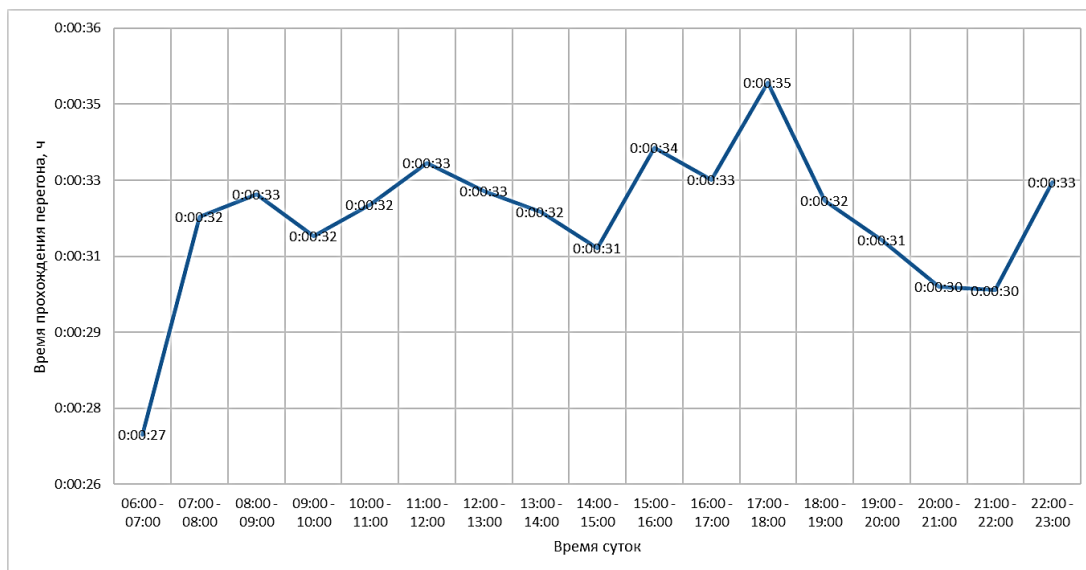


Рисунок 9 – Время прохождения перегона ул. Приборостроительная УДС ОГА 02.05.2024г. (выходной день), определенное по формуле (3)

Таблица 1 – Пример определения времени прохождения перегона ГПТОП

Время суток	ГРЗ ПС	Номер маршрута	Время отправления от начальной точки перегона, ч	Время прибытия на конечную точку перегона, ч	Время прохождения перегона, ч	Среднее время прохождения перегона, ч
06:00 - 07:00	C703HK	47	06:03:26	6:03:55	0:00:29	0:00:30
	C526MP	47	06:10:16	6:10:50	0:00:34	
	K083XA	47	06:15:47	6:16:10	0:00:23	
	Y582HA	47	06:22:44	6:23:12	0:00:28	
	AA400	60	06:27:37	6:28:12	0:00:35	
	K687XB	25	06:49:45	6:50:18	0:00:33	
	E256AK	22	06:55:44	6:56:14	0:00:30	
	C486PK	47	06:56:44	6:57:17	0:00:33	
C705KE	60	06:57:45	6:58:12	0:00:27		

В завершении исследования, значения времени прохождения перегона, полученные методом натурального обследования и при помощи разработанного алгоритма, сравнивались между собой (рисунки 10-13).

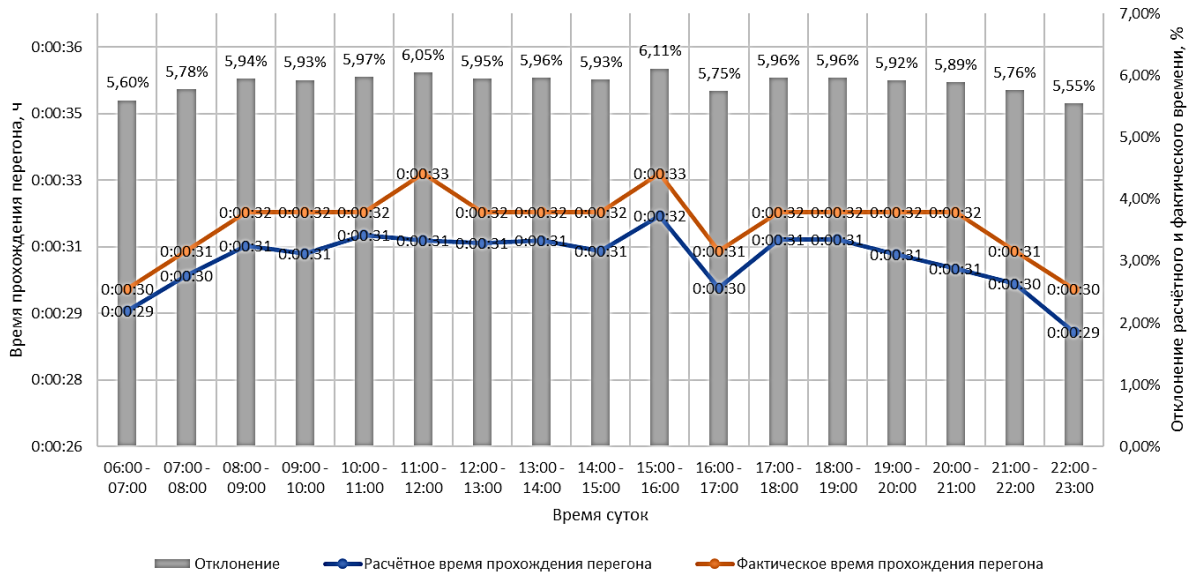


Рисунок 10 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния ТП ОГА 22.03.2024г. (будний день)

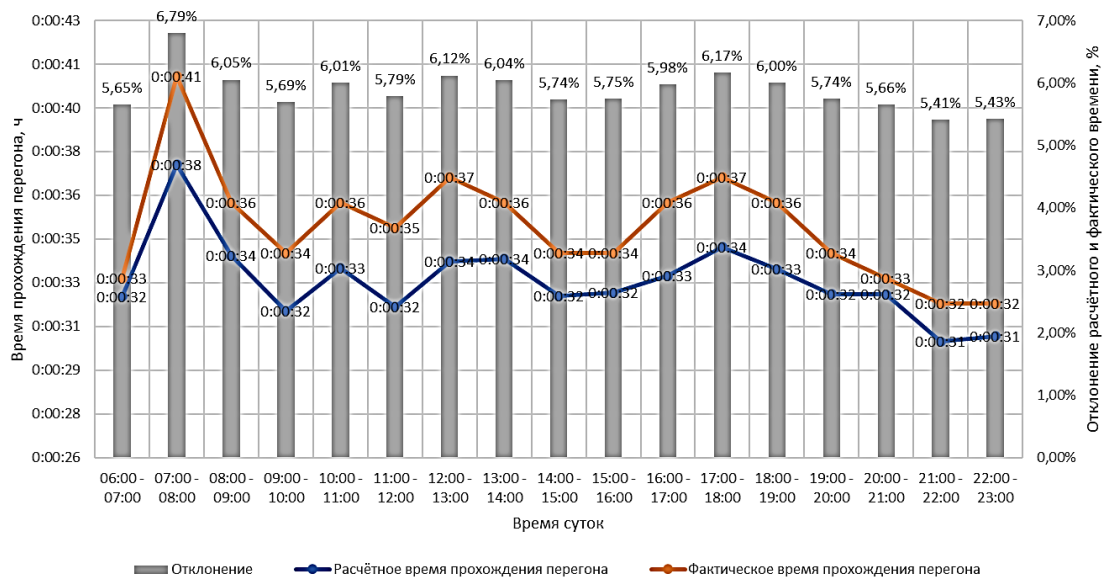


Рисунок 11 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния ТП ОГА 26.03.2024г. (будний день)

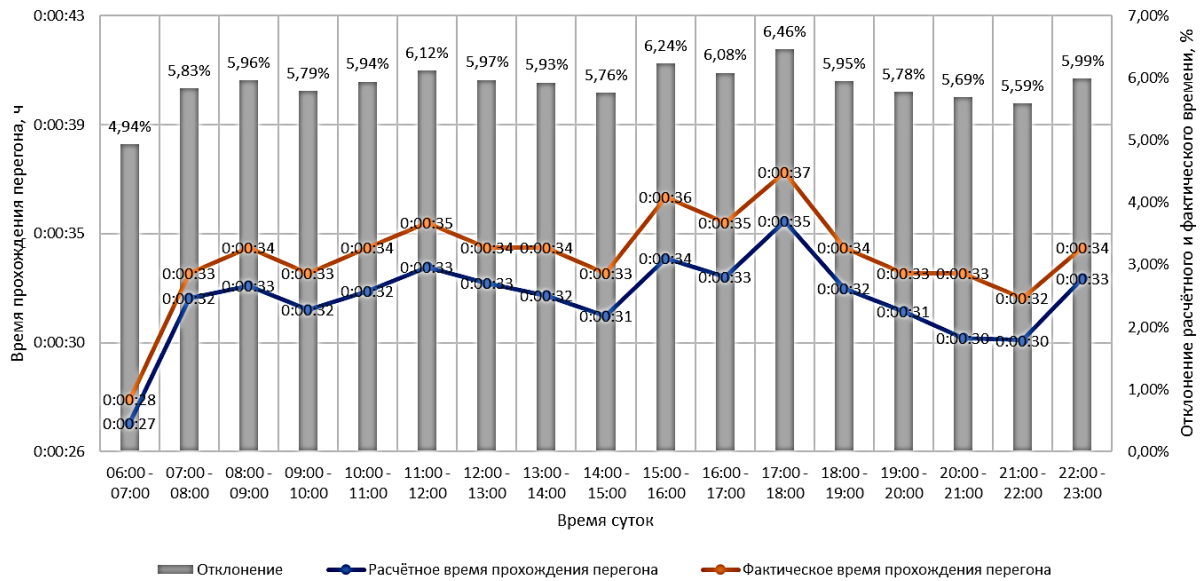


Рисунок 12 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния ТП ОГА 10.04.2024г. (будний день)

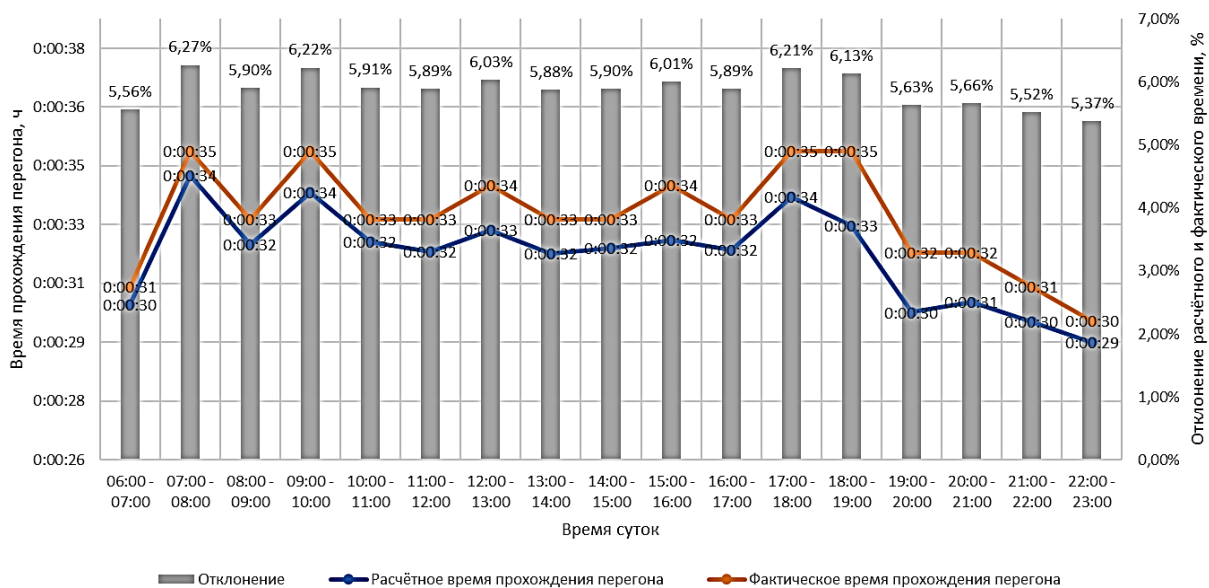


Рисунок 13 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния ТП ОГА 02.05.2024г. (выходной день)

Проведенные сравнения значений времени прохождения перегона ул. Приборостроительная, полученные при помощи предложенного алгоритма и натурных исследований, подтвердили достоверность предложенного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров ТП.

4 Обсуждение и заключение

В процессе проведения исследования были решены следующие задачи:

– разработан алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров ТП, позволяющий производить диспетчерское управление ГПТОП, основываясь на определении времени оборотного рейса, а также определять режим функционирования ИТС городской агломерации;

– проведено тестирование разработанного алгоритма, посредством сравнительного анализа значений времени прохождения перегона маршрутной сети ГПТОП, полученных при помощи разработанного алгоритма и методом натурального обследования.

Предложенный алгоритм управления процессами перевозки пассажиров может быть реализован в различных городских агломерациях нашей страны, в которых имеются подсистемы мониторинга параметров ТП. Данный алгоритм может быть использован также для формирования маршрутного расписания ГПТОП на этапах создания новых и корректировки существующих маршрутов движения ГПТОП.

Список литературы

1 Корягин, М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов [Текст] / М.Е. Корягин. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.

2 Скиркоцкий, С.В. Городской наземный маршрутизированный транспорт: решения по организации перевозок: [монография] / С.В. Скиркоцкий, В.Н. Седюкевич. – Гомель: БелГТУ, 2019. – 174 с.

3 Теоретические основы пассажирских межмуниципальных автомобильных перевозок [Электронный ресурс]: монография / Н.Н. Якунин [и др.]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». - Оренбург: ОГУ. – 2020. – 196 с- Загл. с тит. экрана.

4 Курганов, В. М. Управление автомобильными перевозками на основе ситуационного подхода: дис. докт. техн. наук. М., 2004. – 334 с.

5 Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом / Минтранс Российской Федерации – 2020. – 59 с.

6 Власов, В.М. Транспортная телематика в дорожной отрасли: учеб. пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: МАДИ, 2013. – 80 с.

7 Лебедева, О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего назначения: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лебедева Ольга Анатольевна; Иркутский государственный технический университет. - Иркутск, 2014. – 20 с. - Библиогр.: с. 18-20. - Место защиты: Иркутский государственный технический университет. - Текст: непосредственный.

8 Тихомиров, П.В. Прогнозирование городских логистических систем пассажирских перевозок на основе искусственных нейронных сетей [Текст] / П.В. Тихомиров, В. В. Камынин, В.В. Сиваков, С.С. Сеницын, М.А. Процкая. – Брянск: ООО «Новый проект», 2019. – 158 с.

9 Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение субсидий из федерального бюджета бюджетами субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия «Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: распоряжение Министерства транспорта РФ от 27 апреля 2024 г. № АК-95-р // <https://www.consultant.ru>.

10 Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки [Текст] / В. А. Гудков [и др.] ; В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев. - М. : Горячая линия - Телеком, 2006. – 448 с.

11 Распоряжение Минтранса России от 27 декабря 2022 г. № АК-337-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения». [электронный источник] – режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406101059/>.

12 Самойлович Т.Н. Длительность операций при стоянке маршрутных пассажирских транспортных средств для высадки и посадки пассажиров // Наука и техника. 2013. – №3. – С. 1-8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dlitelnost-operatsiy-pri-stoyanke-marshrutnyh-passazhirskih-transportnyh-sredstv-dlya-vysadki-i-posadki-passazhirov> (дата обращения: 03.12.2025).

References

1 Koryagin, M.E. Equilibrium Models of the Urban Passenger Transport System in Conditions of Conflicting Interests [Text] / M.E. Koryagin. - Novosibirsk: Nauka, 2011. - 140 p.

2 Skirkovsky, S.V. Urban Ground Routed Transport: Solutions for Organizing Transportation: [monograph] / S.V. Skirkovsky, V.N. Sedyukevich. - Gomel: BelSTU, 2019. - 174 p.

3 Theoretical Foundations of Inter-Municipal Passenger Automobile Transportation [Electronic resource]: monograph / N.N. Yakunin [et al.]; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University". - Orenburg: OSU. – 2020. – 196 p.- Title from screen title.

4 Kurganov, V. M. "Automotive Transportation Management Based on a Situational Approach": Dis. Doctor of Engineering Sciences. Moscow, 2004. – 334 p.

5 Methodological Recommendations for the Development of a Planning Document for Regular Transportation of Passengers and Baggage on Municipal and Intermunicipal Routes by Road and Urban Ground Electric Transport / Ministry of Transport of the Russian Federation – 2020. – 59 p.

6 Vlasov, V. M. "Transport Telematics in the Road Industry: Textbook" / V. M. Vlasov, D. B. Efimenko, V. N. Bogumil. – Moscow: MADI, 2013. – 80 p.

7 Lebedeva, O. A. Improving the methods of monitoring passenger flows on the routes of urban general passenger transport: specialty 05.22.10 "Operation of road transport": abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Lebedeva Olga Anatolyevna; Irkutsk State Technical University. - Irkutsk, 2014. - 20 p. - Bibliography: pp. 18-20. - Place of protection: Irkutsk State Technical University. - Text: direct.

8 Tikhomirov, P. V. Forecasting of urban logistics systems of passenger transportation based on artificial neural networks [Text] / P. V. Tikhomirov, V. V. Kamynin, V. V. Sivakov, S. S. Sinitsyn, M. A. Protskaya. – Bryansk: ООО Novy Proekt, 2019. – 158 p.

9 On approval of the Methodological recommendations for the development of applications (including local projects for the creation and modernization of intelligent transport systems) of constituent entities of the Russian Federation for receiving subsidies from the federal budget by the budgets of constituent entities of the Russian Federation for the purpose of implementing the event "Intelligent transport systems have been implemented that provide for the automation of traffic management processes in urban agglomerations, including cities with a population of over 300 thousand people" within the framework of the federal project "System-wide measures for the development of the road infrastructure" of the state program of the Russian Federation "Development of the transport system": order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated April 27, 2024 No. АК-95-р // <https://www.consultant.ru>.

10 Gudkov, V.A. Passenger automobile transportation [Text] / V.A. Gudkov [et al.]; V. A. Gudkov, L. B. Mirotin, A. V. Velmozhin, S. A. Shiryaev. - M.: Goryachaya Liniya - Telecom, 2006. - 448 p.

11 Order of the Ministry of Transport of Russia dated December 27, 2022 No. АК-337-р "On approval of methodological recommendations for conducting road traffic monitoring". [electronic source] - access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406101059/>.

12 Samoylovich T. N. Duration of operations during parking of route passenger vehicles for disembarking and boarding passengers // Science and Technology. 2013. - No. 3. - P. 1-8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dlitelnost-operatsiy-pri-stoyanke-marshrutnyh-passazhirskih-transportnyh-sredstv-dlya-vysadki-i-posadki-passazhirov> (date of access: 03.12.2025).