



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ
МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО
ПАССАЖИСКОГО ТРАНСПОРТА
ГОРОДОВ-МИЛЛИОННИКОВ
НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА**

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF A
MULTIMODAL TRANSPORT NETWORK
OF URBAN PASSENGER TRANSPORT
IN CITIES WITH MILLIONS
OF INHABITANTS ON THE EXAMPLE
OF VOLGOGRAD**

✉¹ Куликов Алексей Викторович,
к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные пере-
возки», Волгоградский государственный тех-
нический университет, г. Волгоград,
e-mail: v2xoda@ya.ru

✉¹ Kulikov Alexey Viktorovich,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department Automobile transportation,
Volgograd state technical university, Volgograd,
e-mail: v2xoda@ya.ru

Миротин Леонид Борисович,
д.т.н., профессор кафедры «Менеджмент»,
Московский автомобильно-дорожный госу-
дарственный технический университет,
г. Москва, e-mail: mirotin2004@mail.ru

Mirotin Leonid Borisovich,
doctor of technical sciences professor of the depart-
ment of Management, Moscow state automobile and
road technical university, Moscow,
e-mail: mirotin2004@mail.ru

Вальковская Анна Аловсатовна,
магистр кафедры «Транспортная телематика»
Московский автомобильно-дорожный госу-
дарственный технический университет, г. Москва,
e-mail: anna.valkovskay2000@yandex.ru

Valkovskaya Anna Alovsatovna,
master of the department Transport Telematics
Moscow state automobile and road technical university,
Moscow, e-mail: anna.valkovskay2000@yandex.ru

Куликов Андрей Алексеевич,
студент, Волгоградский государственный тех-
нический университет, г. Волгоград,
e-mail: UncherYT@yandex.ru

Kulikov Andrey Alekseevich,
student, Volgograd State Technical University, Vol-
gograd, e-mail: UncherYT@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены этапы формирования модели мультимодальной транспортной сети городского пассажирского транспорта города-миллионника. Предложен метод определения местоположения оптимального мультимодального транспортно-пересадочного узла на улично-дорожной сети города. Проведен анализ изменения численности населения г. Волгограда, по административным районам города определено расположение предлагаемых мультимодальных транспортно-пересадочных узлов. Построена мультимодальная модель, представляющая собой плоский граф

Annotation. The article presents the stages of forming a model of a multimodal transport network of an urban passenger transport port of a million-plus city. A method for determining the location of an optimal multimodal transport interchange hub on the city's road network is proposed. The analysis of the change in the population of Volgograd was carried out, the location of the proposed multimodal transport hubs was determined by the administrative districts of the city. A multimodal model is constructed, which is a flat graph with vertices in multimodal transport hubs and transport links, characterized by distances along the city's street and road network.

с вершинами в мультимодальных транспортно-пересадочных узлах и транспортными связями, характеризуемые расстояниями по улично-дорожной сети города.

Ключевые слова: ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ, МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ, МОДЕЛЬ, ГОРОДА-МИЛЛИОННИКИ, ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ, ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ.

Keywords: TRANSPORT NETWORK, MULTIMODAL PASSENGER TRANSPORTATION, MODEL, MILLION-DOLLAR CITIES, TRANSPORT HUBS, URBAN PASSENGER TRANSPORT.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время маршрутная система городского пассажирского транспорта (ГПТ) требует пересмотра, изменения и трансформации. Это связано с поиском путей повышения привлекательности использования различных видов ГПТ населением крупных городов. Для экономии временных затрат целесообразно использовать скоростные виды ГПТ в ежедневных передвижениях населения. Но прямая доступность скоростного ГПТ обеспечена не для всех жителей города, для этого необходимо использовать различные виды подвозящего транспорта (городской автомобильный, личный автомобиль, СИМ и др.) к остановочному пункту скоростного. Для снижения временных и финансовых затрат при перемещениях пассажиров ГПТ необходимо обеспечить оптимальное взаимодействие различных видов транспорта в транспортной системе города и его агломерации. Создание мультимодальной транспортной сети ГПТ обеспечит комфортное и качественное передвижение пассажиров как внутри города, так и в границах его агломерации. Оптимальная мультимодальная транспортная сеть ГПТ должна учитывать особенность планировочной структуры крупного города, численность постоянно проживающих жителей и приезжающих туристов, уровень развития транспортной системы города, природно-климатические особенности, влияющие на сезонные колебания пассажиропотоков и экономический потенциал региона.

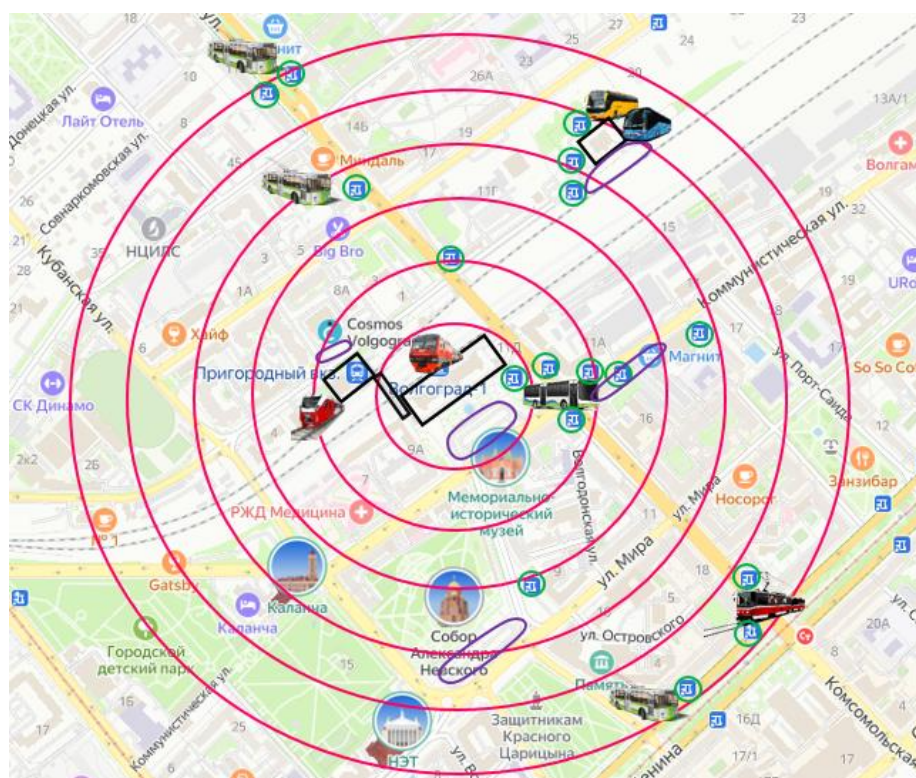
Целью работы является разработка современной топологической схемы города основанной на мультимодальности, обеспечивающей привлекательность использования ГПТ населением города-миллионника.

По литературным источникам [1-3] отмечается, что основными этапами транспортного проектирования городов являются технико-экономические основы, генеральный план и комплексная транспортная схема. Исходными материалами для транспортного проектирования служат данные различных исследований городского движения. Совершенствование маршрутной системы городов-миллионников сложный и трудоемкий процесс, он невозможен без применения экономико-математических методов, внедрения телематических систем и цифровой инфраструктуры [4-6]. При создании оптимальной мультимодальной модели маршрутной системы пассажирских перевозок необходимы сведения о пассажирообороте остановочных пунктах, объеме перевозок пассажиров по маршрутам и видам транспорта. Одной из главных характеристик маршрутной системы являются затраты времени пассажиров: суммарные или средние на одну сетевую поездку (от пункта отправления до пункта назначения). На снижение этих затрат и направлена оптимизация мультимодальной маршрутной сети, которую можно представить моделью, состоящей из трех частей: топологической схемы, перечня маршрутов и матрицы пассажиропотоков.

2 Материалы и методы

Транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) [7] являются основным звеном в мультимодальной транспортной системе города и выполняют важную функцию в транспортной системе, обеспечивая смену видов транспорта и координируя передвижение людей. Организация мультимодальных пассажирских перевозок позволит сформировать эффективную систему транспортного обслуживания населения, сочетать различные виды транспорта с целью использования преимуществ каждого вида и оптимизировать временные и финансовые затраты, а также выполнить ряд других первоочередных задач [8-11, 12-13].

В ранее разработанных методах исследования транспортного удаления от остановочных пунктов и мест тяготения, профессоров: Гудкова, Миротина, Вельможина [1, 3] не учитывали все возможности телематических систем, в связи с чем методы были доработаны для определения оптимального местоположения ТПУ. Предлагаем ТПУ представлять в виде круговых секторов с меняющимся радиусом от 100 до 600 м. Центром узла является остановочный пункт главного транспорта (чаще всего это скоростной транспорт или транспорт с большими провозными возможностями). Используя графоаналитический метод можно определить количество остановочных пунктов, попадающих в зону комфортной шаговой доступности для пассажира – 600 м от крупного ТПУ, и составить его полную характеристику [14, 15]. На рис. 1 представлен пример формирования мультимодального ТПУ в Центральном районе г. Волгограда – «Железнодорожный вокзал «Волгоград–1» с обозначением пригородного вокзала, парковок и остановочных пунктов различных видов транспорта [15].



– транспортные терминалы;
 – автомобильные парковки;
 – остановочные пункты различных видов транспорта.

Рисунок 1 – ТПУ «Железнодорожный вокзал «Волгоград–1»»

В табл. 1 представлены все виды взаимодействующего транспорта и перехватывающие парковки в ТПУ «Железнодорожный вокзал «Волгоград–1»».

Таблица 1 – Остановочные пункты ГПТ и перехватывающие парковки в ТПУ «Железнодорожный вокзал «Волгоград-1»»

Вид транспорта	Радиус действия, м					
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600
Автобус	-	3	-	2	2	5
Маршрутное такси	1	4	2	4	1	4
Троллейбус	-	-	-	1	-	4
Трамвай	-	-	-	-	-	-
Метротрам	-	-	-	-	-	1
Электропоезд	1	-	-	-	-	-
Парковка	1	1	-	1	-	-

Центром ТПУ является железнодорожный вокзал «Волгоград-1» – крупный транспортный узел пригородного и междугороднего сообщения. Узел оснащен большим количеством остановочных пунктов ГПТ, перехватывающими парковками, находится вблизи парковых зон и учебного заведения и является примером формирования других значимых ТПУ крупного города.

Количество и расположение ТПУ в городе связано с количеством населения, проживающего в районах, зависит от значимости административного района (промышленной, культурной, развлекательной и др.) и от транспортной подвижности населения, а также от выходных линий транспорта в агломерацию. На рис. 2 приведена схема распределения численности населения по административным районам г. Волгограда за 2024 г.



Рисунок 2 – Схема распределения численности населения по административным районам г. Волгограда (данные 2024 г.)

В 2010 г. по итогам переписи населения г. Волгограда был присвоен статус города-миллионника [16]. По данным рис. 2 можно сделать вывод, г. Волгоград разделен на 8 административных районов с неравной численностью населения. По численности населения самым большим является Дзержинский район (187,8 тыс. чел.), а самым малым – Центральный район (84,1 тыс. чел.), но дневное пребывание населения в Центральном районе может превышать его численность в три, а то и в шесть раз (и более) в зависимости от будних (рабочих) дней и праздничных (день Города, праздник Победы, футбол и др.) По площади самым крупным является Красноармейский район (133 км²), а самым малым – Центральный район (11 км²). Размещение ТПУ в центральной части города требует особого внимания [17] – формирования компактных, функциональных и экологично вписывающихся в архитектуру умного города кибирфизических элементов единой умной транспортной системы пассажирских перевозок.

По административным районам г. Волгограда необходимо выделить основные ТПУ, в которых осуществляется взаимодействие различных видов ГПТ.

На рис. 3 представлено размещение предлагаемых ТПУ Центрального района г. Волгограда.

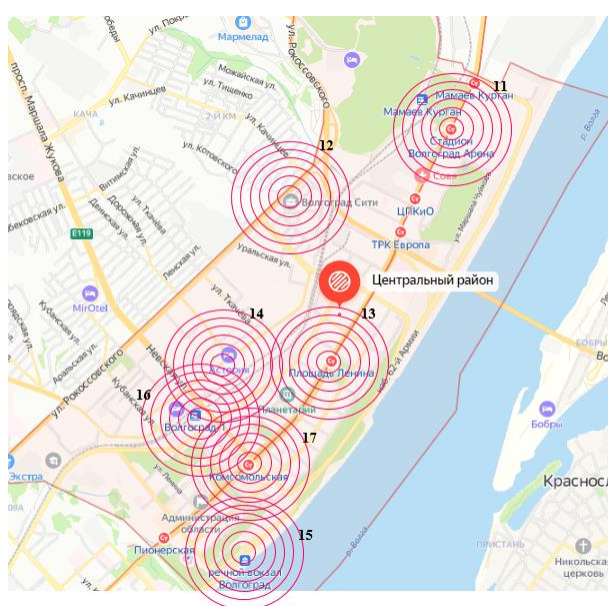


Рисунок 3 – Размещение предлагаемых ТПУ Центрального района

В табл. 2 представлены ТПУ Центрального района г. Волгограда и наличие в них взаимодействующих видов транспорта и перехватывающих парковок.

Таблица 2 – ТПУ Центрального района г. Волгограда

Название района города	Основные ТПУ	Взаимодействующие виды транспорта							
		М _т	А	Т ₁	Т ₂	МТ	ЭП	ВТ	П
Центральный	11. Центральный стадион «Волгоград-Арена»	+	+	+	-	+	+	-	+
	12. Волгоград-Сити (пересечение ул. Хиросимы и ул. Рокоссовского)	+	+	-	-	-	+	-	+
	13. Площадь им. В.И. Ленина	+	+	+	-	+	-	-	+
	14. Центральный автовокзал г. Волгограда	+	+	+	-	-	+	-	+
	15. Речпорт г. Волгограда	+	+	-	-	-	-	+	+
	16. ЖД вокзал «Волгоград-1»	+	+	+	-	+	+	-	+
	17. Ул. Комсомольская	+	+	+	-	+	-	-	+

*Обозначение: М_т – маршрутное такси; А – автобус; Т₁ – троллейбус; Т₂ – трамвай; МТ – метротрам; ЭП – электропоезд; ВТ – водный транспорт; П – перехватывающая парковка.

Проанализировав данные табл. 3 можно сделать вывод, что в каждом ТПУ присутствуют различные виды транспорта либо перехватывающая парковка (которая обеспечивает возможность использования личного транспорта), в результате можно считать, что ТПУ является мультимодальным.

3 Результаты исследований

По предложенному методу определения оптимального местоположения мультимодального ТПУ в г. Волгограде выделено 29 ТПУ, в которых происходит взаимодействие различных видов ГПТ. Построена модель мультимодальной транспортной сети ГПТ, представляющая собой плоский граф: вершины – предложенные мультимодальные ТПУ, а ребра – участки улично-дорожной сети автомобильного транспорта (рис. 4). Такая модель позволяет получить важные характеристики маршрутной системы. Алгоритм расчета оптимизации маршрутной системы заключается в поиске вариантов, обеспечивающих минимизацию суммарных затрат времени пассажиров на поездки на базе матрицы пассажиропотоков и транспортной сети, заданной топологической схемой связи ТПУ с использованием цифровой концепция интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации $K(1; 0)$ [18].

Определение кратчайших расстояний между пассажирообразующими и пассажиропоглощающими пунктами производится с помощью математической модели и разработанной программы для ЭВМ [19-22].

Отыскание кратчайшего расстояния относится к классу экстремальных задач. В терминах сетевой модели каждому маршруту $(i, j) \in G$ сети соответствует несколько вариантов его выполнения. Математическая постановка задач имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{минимизировать} && \sum_{(i,j) \in G} \sum l_{ij} x_{ij} \\ & \text{при ограничениях} && \sum_{(k,j) \in G} x_{kj} - \sum_{(i,k) \in G} x_{ik} = \begin{cases} 1, k = A \text{ (пункт производства);} \\ 0 \text{ (для всех остальных);} \\ -1, k = B \text{ (пункт потребления).} \end{cases} \\ & && x_{ij} \geq 0 \text{ для всех } (i, j) \in G, \end{aligned}$$

где l_{ij} – расстояние между i и j вершинами транспортной сети, км; x_{ij} – объем перевозок пассажиров между i и j вершинами транспортной сети, пасс.

Результаты расчетов кратчайших расстояний между пассажирообразующими и пассажиропоглощающими пунктами модели мультимодальной сети ГПТ г. Волгограда представлены в табл. 3.

Разработана модель мультимодальной транспортной сети г. Волгограда, позволит формировать маршруты различных видов транспорта либо исследовать характеристики существующих, а также проводить моделирование с прогнозом изменения возможного состояния ГПТ в будущем.



Рисунок 4 – Разработанная модель мультимодальной транспортной сети г. Волгограда

Таблица 3 – Кратчайшие расстояния между пассажирообразующими и пассажиропоглощающими пунктами модели мультимодальной сети ГПТ г. Волгограда, км

		Пассажиропоглощающие пункты (номер мультимодального ТПУ)																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Пассажирообразующие пункты (номер мультимодального ТПУ)	1	0	9,2	10,5	11,5	15,2	17,3	33,4	14,6	12,2	18,2	21,7	25,4	24	24,6	24,7	21,8	22,9	24,5	27,4	36,6	32,5	27,9	39,8	35,4	37	38,4	55,1	56,5	57,7
	2	9,2	0	4,1	3,1	6,8	8,2	24,2	5,4	3	9	12,6	16,2	14,8	15,4	15,5	12,6	13,7	15,3	18,2	27,4	23,3	18,7	30,6	26,2	27,8	29,2	45,9	47,3	48,5
	3	10,5	4,1	0	1	4,7	6,8	28,3	11,2	7,1	13,1	11,2	15,5	15,5	18,2	18,4	16,7	16,6	18,5	21,9	31,5	26,5	21,9	33,8	29,4	31	32,4	49,1	50,5	51,7
	4	11,5	3,1	1	0	3,7	5,8	27,3	8,5	6,1	12,1	10,2	14,5	14,5	17,2	17,4	15,7	15,6	17,5	20,9	30,5	25,5	20,9	32,8	28,4	30	31,4	48,1	49,5	50,7
	5	15,2	6,8	4,7	3,7	0	2,1	28,5	9,7	7,3	13,3	6,5	10,8	10,8	13,5	13,7	13	11,9	13,8	17,2	26,8	21,8	17,2	29,1	24,7	26,3	27,7	44,4	42,8	47
	6	17,3	8,2	6,8	5,8	2,1	0	26,4	7,6	5,2	11,2	4,4	8,7	8,7	11,4	11,6	10,9	9,8	11,7	15,1	24,7	19,7	15,1	27	22,6	24,2	25,6	42,3	43,7	44,9
	7	33,4	24,2	28,3	27,3	28,5	26,4	0	18,8	21,2	15,2	25,1	22,2	20,8	21,4	21,5	18,6	19,7	21,3	24,4	33,4	23,3	24,7	32,4	28	29,6	31	47,7	49,1	50,3
	8	14,6	5,4	11,2	8,5	9,7	7,6	18,8	0	2,4	3,6	9	10,8	9,4	10	10,1	7,2	8,3	9,9	12,8	22	17,9	13,3	25,2	20,8	22,4	23,8	40,5	41,9	43,1
	9	12,2	3	7,1	6,1	7,3	5,2	21,2	2,4	0	6	9,6	3	11,8	12,6	12,5	9,6	10,7	12,3	15,2	24,4	20,3	15,7	27,6	23,2	24,8	26,2	42,9	44,3	45,5
	10	18,2	9	13,1	12,1	13,3	11,2	15,2	3,6	6	0	10,1	7,2	5,8	6,4	6,5	6	4,7	6,3	9,2	18,4	14,3	9,7	21,6	17,2	18,8	20,2	36,9	38,3	39,5
	11	21,7	12,6	11,2	10,2	6,5	4,4	25,1	9	9,6	10,1	0	4,3	4,3	7	7,2	6,5	5,4	7,3	10,7	20,3	15,3	10,7	22,6	18,2	19,8	21,2	37,9	39,3	40,5
	12	25,4	16,2	15,5	14,5	10,8	8,7	22,2	10,8	3	7,2	4,3	0	5,8	3,6	6,5	3,6	4,7	6,3	9,7	18,4	14,3	9,7	21,6	17,2	18,8	20,2	36,9	38,3	39,5
	13	24	14,8	15,5	14,5	10,8	8,7	20,8	9,4	11,8	5,8	4,3	5,8	0	2,7	3,9	2,2	1,1	3	6,4	16	11	6,4	18,3	13,9	15,5	16,9	33,6	35	36,2
	14	24,6	15,4	18,2	17,2	13,5	11,4	21,4	10	12,4	6,4	7	3,6	2,7	0	3,5	2,8	1,7	3,6	7	16,6	11,6	7	18,9	14,5	16,1	17,5	34,2	35,6	36,8
	15	24,7	15,5	18,4	17,4	13,7	11,6	21,5	10,1	12,5	6,5	7,2	6,5	3,9	3,5	0	2,9	1,8	3,7	7,1	16,7	11,7	7,1	19	14,6	16,2	17,6	32,3	35,7	36,9
	16	21,8	12,6	16,7	15,7	13	10,9	18,6	7,2	9,6	6	6,5	3,6	2,2	2,8	2,9	0	1,1	2,7	6,1	14,8	10,7	6,1	18	13,6	15,2	16,6	33,3	34,7	35,9
	17	22,9	13,7	16,6	15,6	11,9	9,8	19,7	8,3	10,7	4,7	5,4	4,7	1,1	1,7	1,8	1,1	0	1,9	5,3	14,9	9,9	5,3	17,2	12,8	14,4	15,8	32,5	33,9	35,1
	18	24,5	15,3	18,5	17,5	13,8	11,7	21,3	9,9	12,3	6,3	7,3	6,3	3	3,6	3,7	2,7	1,9	0	3,4	13	8	3,4	15,3	10,9	12,5	13,9	30,6	32	33,2
	19	27,4	18,2	21,9	20,9	17,2	15,1	24,4	12,8	15,2	9,2	10,7	9,7	6,4	7	7,1	6,1	5,3	3,4	0	11,6	5,7	6,8	14,8	10,4	12	13,4	30,1	31,5	32,7
	20	36,6	27,4	31,5	30,5	26,8	24,7	33,4	22	24,4	18,4	20,3	18,4	16	16,6	16,7	14,8	14,9	13	11,6	0	17,3	16,4	26,4	22	23,6	25	41,7	43,1	44,3
	21	32,5	23,3	26,5	25,5	21,8	19,7	23,3	17,9	20,3	14,3	15,3	14,3	11	11,6	11,7	10,7	9,9	8	5,7	17,3	0	4,6	9,1	4,7	6,3	7,7	24,4	25,8	27
	22	27,9	18,7	21,9	20,9	17,2	15,1	24,7	13,3	15,7	9,7	10,7	9,7	6,4	7	7,1	6,1	5,3	3,4	6,8	16,4	4,6	0	11,9	7,5	9,1	10,5	27,2	28,6	29,8
	23	39,8	30,6	33,8	32,8	29,1	27	32,4	25,2	27,6	21,6	22,6	21,6	18,3	18,9	19	18	17,2	15,3	14,8	26,4	9,1	11,9	0	4,4	6	7,4	24,1	25,5	26,7
	24	35,4	26,2	29,4	28,4	24,7	22,6	28	20,8	23,2	17,2	18,2	17,2	13,9	14,5	14,6	13,6	12,8	10,9	10,4	22	4,7	7,5	4,4	0	1,6	3	19,7	21,1	22,3
	25	37	27,8	31	30	26,3	24,2	29,6	22,4	24,8	18,8	19,8	18,8	15,5	16,1	16,2	15,2	14,4	12,5	12	23,6	6,3	9,1	6	1,6	0	1,4	18,1	19,5	20,7
	26	38,4	29,2	32,4	31,4	27,7	25,6	31	23,8	26,2	20,2	21,2	20,2	16,9	17,5	17,6	16,6	15,8	13,9	13,4	25	7,7	10,5	7,4	3	1,4	0	16,7	18,1	19,3
	27	55,1	45,9	49,1	48,1	44,4	42,3	47,7	40,5	42,9	36,9	37,9	36,9	33,6	34,2	34,3	33,3	32,5	30,6	30,1	41,7	24,4	27,2	24,1	19,7	18,1	16,7	0	3,2	4
	28	56,5	47,3	50,5	49,5	45,8	43,7	49,1	41,9	44,3	38,3	39,3	38,3	35	35,6	35,7	34,7	33,9	32	31,5	43,1	25,8	28,6	25,5	21,1	19,5	18,1	3,2	0	1,2
	29	57,7	48,5	51,7	50,7	47	44,9	50,3	43,1	45,5	39,5	40,5	39,5	36,2	36,8	36,9	35,9	35,1	33,2	32,7	44,3	27	29,8	26,7	22,3	20,7	19,3	4	1,2	0

В табл. 4 представлено количество ТПУ по каждому району города, наличие различных видов остановочных пунктов ГПТ и перехватывающих парковок.

Проанализировав существующие ТПУ можно отметить, что по административным районам города они будут размещены следующим образом: в Тракторозаводском – 4 ед.; Краснооктябрьском – 2 ед.; Дзержинском – 4 ед.; Центральном – 7 ед.; Ворошиловском – 2 ед.; Советском – 5 ед.; Кировском – 2 ед.; Красноармейском – 3 ед.

На рис. 5 представлены результаты анализа распределения остановочных пунктов ГПТ и перехватывающих парковок по предложенным круговым секторам (100-600 м) в 29 разработанных мультимодальных ТПУ.

Таблица 4 – Характеристика ТПУ г. Волгограда

Название района города	Основные ТПУ	Количество остановочных пунктов ГПТ и перехватывающих парковок							
		М _т	А	Т ₁	Т ₂	МТ	ЭП	ВТ	П
Тракторозаводской	1. Пересечение 1-й и 2-й Продольной магистрали	3	2	-	-	-	-	-	-
	2. Новая Спартановка	7	8	6	-	-	-	-	-
	3. Рынок ТЗР	10	13	7	-	1	1	-	1
	4. ТРЦ «Семь звезд»	12	19	9	-	1	1	-	1
Краснооктябрьский	5. Завод «Баррикады»	4	2	3	-	2	1	-	1
	6. Завод «Красный Октябрь»	8	7	5	2	1	1	-	3
Дзержинский	7. Аэропорт «Гумрак»	3	3	-	-	-	1	-	4
	8. Ул. Землячки (Больница скорой помощи № 25)	9	8	6	-	-	-	-	1
	9. ТРК «Мармелад»	8	4	-	-	-	-	-	2
	10. Пересечение 3-й Продольной магистрали и просп. Маршала Жукова	9	10	5	4	-	-	-	-
Центральный	11. Центральный стадион «Волгоград-Арена»	4	4	4	-	2	1	-	3
	12. Волгоград-Сити (пересечение ул. Хиросимы и ул. Рокоссовского)	7	6	-	-	-	1	-	2
	13. Площадь им. В.И. Ленина	3	4	3	-	1	-	-	4
	14. Центральный автовокзал г. Волгограда	18	11	3	-	-	1	-	2
	15. Речпорт г. Волгограда	1	2	-	-	-	-	1	3
	16. ЖД вокзал «Волгоград-1»	16	12	5	-	1	1	-	3
	17. Ул. Комсомольская	12	8	6	-	1	-	-	3
Ворошиловский	18. ТЦ «Ворошиловский»	7	7	7	2	1	-	-	1
	19. ЖД станция «Волгоград-2»	8	2	2	6	1	1	-	1
Советский	20. Поселок «Горьковский»	2	2	-	-	-	1	-	-
	21. Университет «ВолГАУ»	8	4	-	-	-	-	-	-
	22. Мкр. «Тулака»	8	4	6	-	1	-	-	-
	23. Мкр. «Родниковая долина»	14	11	-	-	-	-	-	1
	24. ТРЦ «Акварель» и университет «ВолГУ»	13	9	-	-	-	1	-	4
Кировский	25. ЖК «Санаторный»	6	8	-	-	-	-	-	1
	26. Дом культуры «Авангард»	7	7	-	-	-	-	-	-
Красноармейский	27. Автовокзал «Южный»	15	6	-	-	-	-	-	-
	28. Комплекс «Юбилейный»	11	12	-	6	-	1	-	1
	29. Клуб «Строитель»	15	8	-	6	-	-	-	-

*Обозначение: М_т – маршрутное такси; А – автобус; Т₁ – троллейбус; Т₂ – трамвай; МТ – метротрам; ЭП – электропоезд; ВТ – водный транспорт; П – перехватывающая парковка.

По данным рис. 5 можно сделать вывод, что размещение остановочных пунктов различных видов ГПТ по представленным круговым секторам с плавающим радиусом (100 м) происходит неравномерно [14, 15]. Полученное распределение является основанием для дальнейшего поиска путей совмещения остановочных пунктов различных видов ГПТ и создания эффективных мультимодальных ТПУ. Решение вопроса о перемещениях остановочных пунктов в городских транспортных сетях требует проведения дополнительных исследований.

Представленные мультимодальные ТПУ города обеспечивают взаимодействие различных видов ГПТ. В них пассажир может осуществить «бесшовную» пересадку с одного вида транспорта на другой. Развивающиеся информационные технологии на транспорте в среде умного города позволяют обеспечить режимы совместной работы различного ГПТ – мультимодальность перевозок и своевременно информировать об этом пассажиров [4, 6, 12, 17, 23-26].

Данные табл. 5 представляют собой результаты анализа транспортных систем ГПТ в различные периоды: количество остановочных пунктов и мультимодальных ТПУ г. Волгограда [27-29].

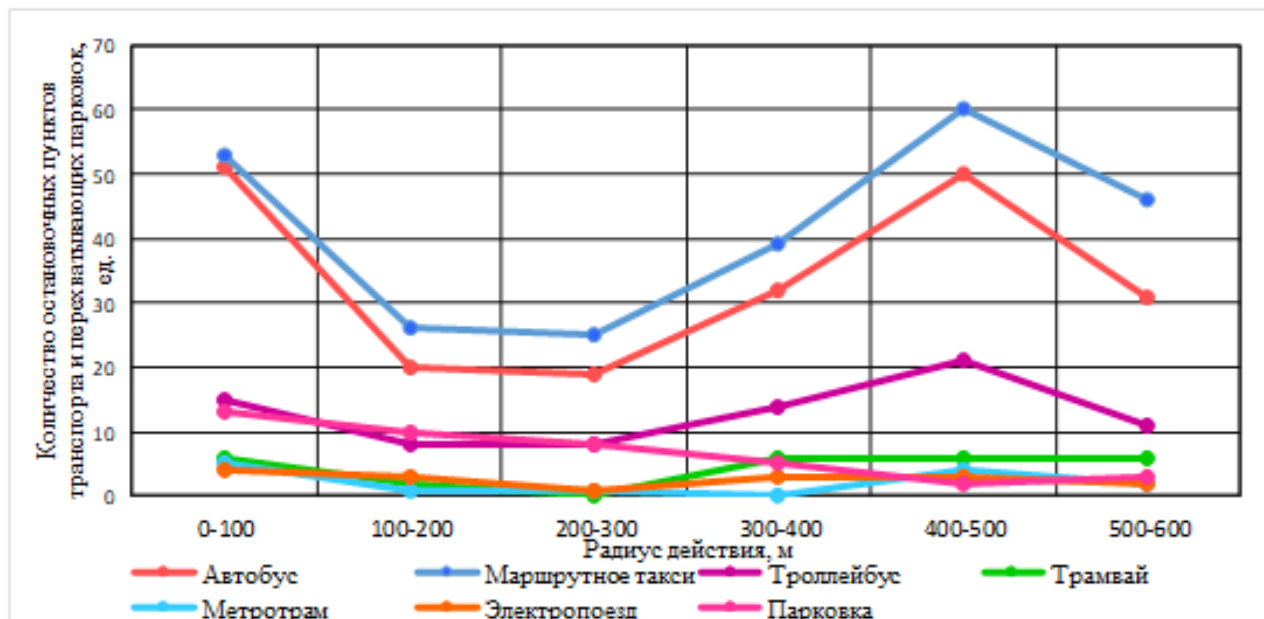


Рисунок 5 – Распределение количества остановочных пунктов ГПТ и перехватывающих парковок в 29 мультимодальных ТПУ г. Волгограда

Таблица 5 – Результаты распределения количества маршрутов по мультимодальным ТПУ г. Волгограда

Наименование транспортной схемы	Год	Количество остановочных пунктов, ед.	Количество мультимодальных ТПУ, ед.	Количество маршрутов в мультимодальных ТПУ, ед.							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Маршруты трамвая	2023	108	13	8	3	-	1	1	-	-	-
Маршруты троллейбуса	2023	104	15	1	1	6	3	4	-	-	-
Маршруты электропоезда	2023	43	13	1	-	4	1	1	1	-	5
Ранее действующая сеть троллейбусов и трамваев											
Маршруты троллейбусов и трамваев	2010	245	20	6	-	2	3	2	5	-	2
Ранее действующая сеть электропоездов											
Маршруты электропоезда	2010	42	12	-	-	4	1	1	1	-	5

В настоящее время трамвайная и троллейбусная сеть г. Волгограда содержит 212 остановочных пунктов, из них 28 мультимодальных; электропоезд – 43 ед., мультимодальных – 13 ед.; автобусная – 617 ед., мультимодальных – 29 ед. Трансформация рассмотрена на ранее действующей сети троллейбусов и трамваев, сеть содержала 245 остановочных пунктов, из них 20 мультимодальных, а электропоезд – 42 ед., мультимодальных – 12 ед., автобусная сеть содержала – 724 ед., мультимодальных – 29 ед.

Все 29 мультимодальных ТПУ включает в себя комплексная транспортная схема г. Волгограда (рис. 6). Разработанная модель мультимодальной транспортной сети органично вписывается в комплексную транспортную схему г. Волгограда, что является показателем выполнения одного из этапов эффективного транспортного проектирования города-миллионника.

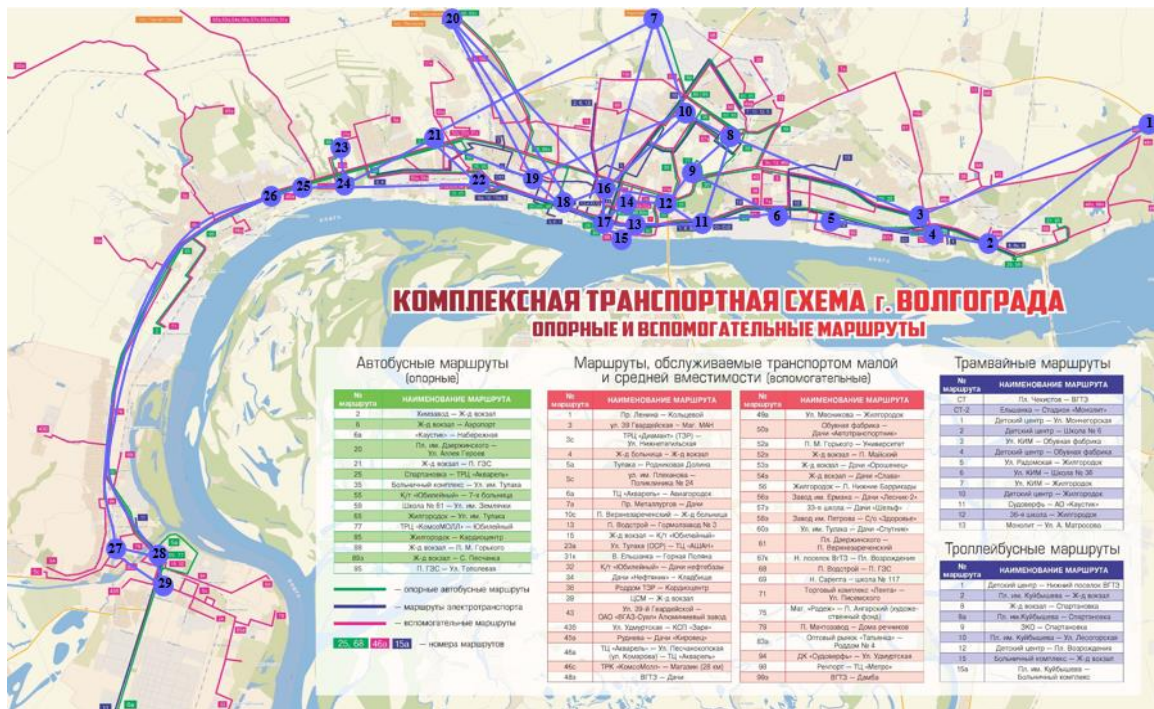


Рисунок 6 – Комплексная транспортная схема г. Волгограда с предлагаемыми мультимодальными ТПУ

4 Обсуждение и заключение

В настоящей статье авторами предлагается метод для определения оптимального местоположения мультимодальных ТПУ в г. Волгограде. Установлено, что количество и расположение ТПУ в городе связано с количеством населения, проживающего в районах, зависит от значимости административного района (промышленной, культурной, развлекательной и др.) и от транспортной подвижности населения, а также от выходных линий транспорта в агломерацию. Предложенные мультимодальные ТПУ являются опорными центрами, через которые можно прокладывать маршруты различных видов ГПТ и организовывать движение подвижного состава по этим маршрутам согласно возникающим неравномерностям пассажиропотоков. Разработана модель мультимодальной транспортной сети г. Волгограда и предложено обоснованное географическое местоположение мультимодальных ТПУ на улочно-дорожной сети города-миллионника. В городе предлагается организовать 29 мультимодальных ТПУ: в Тракторозаводском – 4 ед.; Краснооктябрьском – 2 ед.; Дзержинском – 4 ед.; Центральном – 7 ед.; Ворошиловском – 2 ед.; Советском – 5 ед.; Кировском – 2 ед.; Красноармейском – 3 ед. Через разработанные мультимодальные ТПУ возможно перестраивать (трансформировать) транспортные сети каждого вида ГПТ, изменяя характеристики всей транспортной системы ГПТ города-миллионника в целом. Определены кратчайшие расстояния между мультимодальными ТПУ транспортной сети с помощью математической модели и разработанной программы для ЭВМ. В настоящее время трамвайная и троллейбусная сети г. Волгограда включают 212 остановочных пункта, из них 28 мультимодальных; электропоезд – 43 ед. (мультимодальных – 13 ед.); автобусная – 617 ед. (мультимодальных – 29 ед.). Трансформация рассмотрена на ранее действующей сети троллейбусов и трамваев, сеть содержала 245 остановочных пунктов, из них 20 мультимодальных, а электропоезд – 42 ед. (мультимодальных – 12 ед.), автобусная сеть содержала – 724 ед. (мультимодальных – 29 ед.). Разработанная модель мультимодальной транспортной сети г. Волгограда ориентирована на использование всех видов ГПТ (с использованием перехватывающих парковок личного транспорта) с выходом на транс-

порт агломерации. Трансформация и совершенствование транспортной системы ГПТ, внедрение цифровой инфраструктуры и телематических систем позволят обеспечить слаженную работу ГПТ, взаимосвязь участников транспортного процесса, взаимодовлетворение интересов перевозчиков, пассажиров и муниципального управления города и повысят уровень качества жизни городского населения [13, 30].

Список литературы

- 1 Пассажи́рские автомоби́льные пере́возки: учебник для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2006. – 488 с.
- 2 Вельможин, А. В. Теория транспортных процессов и систем: учебник. / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – Москва: Транспорт, 2012. – 167 с.
- 3 Эффективность городского пассажирского общественного транспорта / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, А. В. Куликов, А. А. Сериков; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2002. – 256 с.
- 4 Власов, В. М. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: учебник. / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, В. Н. Богумил. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 352 с.
- 5 Богумил, В. Н. Телематика на городском пассажирском транспорте: монография / В. Н. Богумил, М. Х. Дуке Саранго. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 200 с.
- 6 Власов, В. М. Цифровая инфраструктура как основа функционирования наземного городского пассажирского транспорта / В. М. Власов // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 12. – С. 3–7.
- 7 СП 395.1325800.2018. Транспортно-пересадочные узлы. Правила проектирования: издание официальное / Федер. агенство по тех. регулированию и метрологии. – Москва: Минстрой России, 2018. – 26 с.
- 8 Спи́рин, И. В. Определение затрат времени пассажиров на поездки в городах / И. В. Спи́рин // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18, № 3(88). – С. 28-43.
- 9 Спи́рин, И. В. Методология планирования автомобильных пассажирских перевозок / И. В. Спи́рин, В. М. Беляев, В. В. Антонова // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 1(80). – С. 20-37.
- 10 Спи́рин, И. В. Расчет цены контракта на перевозки пассажиров по регулируемым тарифам / И. В. Спи́рин, А. К. Аредова, О. Ю. Матанцева // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 3. – С. 44-50.
- 11 Дрю́чин, Д. А. Оценка эффективности применения троллейбусных транспортных систем для обслуживания регулярных маршрутов городского пассажирского транспорта / Д. А. Дрю́чин, О. И. Кабанов, Н. Н. Якунин // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XVIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15–17 ноября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 150-157.
- 12 Интеллектуализация процессов в городских транспортных системах / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, А. Г. Шевцова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – 419 с.
- 13 Тишкова, А. О. Система показателей качества для пассажирского автотранспортного комплекса города / А. О. Тишкова, Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 3130-3136.
- 14 Яндекс. Карты – транспорт, навигация, поиск мест. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/>
- 15 Куликов, А. В. Возможность применения телематических систем в узлах взаимодействия пассажирского транспорта города-миллионника на примере г. Волгограда / А. В. Куликов, А. А. Вальковская // XVIII Международная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 15-17 ноября 2023 г.) ; ФГБОУ ВО «Оренбургский гос. университет». – Оренбург, 2023. – С. 224–231.
- 16 Официальная статистика // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области : офиц.сайт. – Режим доступа : <https://34.rosstat.gov.ru>.
- 17 Антюфеев, А. В. Планирование транспортно-пересадочных узлов в линейных городах (на примере Волгограда) / А. В. Антюфеев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. – № 1(94). – С. 224-233.

18 Куликов, А. В. Цифровая концепция интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации / А. В. Куликов // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : материалы мультиконференции. В 4 т., Волгоград, 11–15 сентября 2023 года. Том 4. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 215-220.

19 Егоров, Р. В. Составление графа транспортной сети объектов города / Р. В. Егоров, В. В. Шорин // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : Тезисы докладов, Волгоград, 25–29 апреля 2022 года / Редколлегия: С.В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград: ВолГТУ, 2022. – С. 124.

20 Близнякова, Е. А. Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе / Е. А. Близнякова, А. А. Куликов, А. В. Куликов // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1. – С. 80-87. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87.

21 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664443 Российская Федерация. Программа расчета ориентированного графа транспортной сети : № 2023663947 : заявл. 05.07.2023 : опубл. 05.07.2023 / А. В. Куликов, Е. Н. Асеева, Е. Р. Сулименова, А. А. Куликов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

22 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616507 Российская Федерация. Составление графа транспортной сети объектов города : № 2022616251 : заявл. 12.04.2022: опубл. 12.04.2022 / А. В. Куликов, Р. В. Егоров, В. В. Шорин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

23 Власов, В. М. Транспортная телематика в дорожной области: учеб. пособие / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, В. Н. Богумил; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. – Москва: МАДИ, 2013. – 80 с.

24 Куликов, А. В. Перспективы «бесшовных» перевозок пассажиров в транспортных системах российских городов-миллионников (на примере Волгограда) / А. В. Куликов, Л. Б. Миротин, А. А. Вальковская // Социология города. – 2022. – № 1–2. – С. 93–116.

25 Антюфеев, А. В. Линейный город. Градостроительная система "Большой Волгоград" / А. В. Антюфеев, Г. А. Птичникова ; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 197 с.

26 Власов, Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы : Монография / Д. Н. Власов. – Москва : Московский государственный строительный университет|Ай Пи Эр Медиа|ЭБС АСВ, 2017. – 192 с.

27 Автобусные остановки в Волгограде на карте. – Режим доступа: <https://2gis.ru/volgograd/search/>.

28 Маршруты и расписание. МетроЭлектроТранс : офиц. сайт. – Режим доступа: <https://gortransvolga.ru/routes/>.

29 Справочник маршрутов Волгограда. – Режим доступа: <https://wikiroutes.info/volgograd/catalog>.

30 Методологические аспекты управления качеством транспортного обслуживания / О. В. Сагинова, И. В. Спирин, Н. Б. Завьялова, Р. П. Сидорчук // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – Т. 7, № 2(26). – С. 28-37.

References

1 Passenger Automobile Transportation: a textbook for universities / V. A. Gudkov, L. B. Miro-tin, A. V. Velmozhin, S. A. Shiryaev. - Moscow: Goryachaya Liniya - Telecom, 2006. - 488 p.

2 Velmozhin, A. V. Theory of Transport Processes and Systems: a textbook. / A. V. Velmozhin, V. A. Gudkov, L. B. Miro-tin. - Moscow: Transport, 2012. - 167 p.

3 Efficiency of Urban Passenger Public Transport / A. V. Velmozhin, V. A. Gudkov, A. V. Kulikov, A. A. Serikov; Volgograd State Technical University. - Volgograd: Volgograd State Technical University, 2002. - 256 p.

4 Vlasov, V. M. Application of digital infrastructure and telematics systems in urban passenger transport: textbook. / V. M. Vlasov, D. B. Efimenko, V. N. Bogumil. - Moscow: INFRA-M, 2021. - 352 p.

5 Bogumil, V. N. Telematics in urban passenger transport: monograph / V. N. Bogumil, M. H. Duque Sarango. - Moscow: INFRA-M, 2022. - 200 p.

- 6 Vlasov, V. M. Digital infrastructure as the basis for the functioning of ground urban passenger transport / V. M. Vlasov // Automobile transport enterprise. - 2016. - No. 12. - P. 3-7.
- 7 SP 395.1325800.2018. Transport hubs. Design rules: official publication / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. - Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2018. - 26 p.
- 8 Spirin, I. V. Determining the time spent by passengers on trips in cities / I. V. Spirin // World of Transport. - 2020. - Vol. 18, No. 3 (88). - Pp. 28-43.
- 9 Spirin, I. V. Methodology for planning automobile passenger transportation / I. V. Spirin, V. M. Belyaev, V. V. Antonova // World of Transport. - 2019. - Vol. 17, No. 1 (80). - Pp. 20-37.
- 10 Spirin, I. V. Calculation of the contract price for the transportation of passengers at regulated tariffs / I. V. Spirin, A. K. Aredova, O. Yu. Matantseva // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. - 2019. - No. 3. - P. 44-50.
- 11 Dryuchin, D. A. Evaluation of the efficiency of using trolleybus transport systems for servicing regular routes of urban passenger transport / D. A. Dryuchin, O. I. Kabanov, N. N. Yakunin // Progressive technologies in transport systems: Proceedings of the XVIII international scientific and practical conference, Orenburg, November 15-17, 2023. - Orenburg: Orenburg State University, 2023. - P. 150-157.
- 12 Intellectualization of processes in urban transport systems / A. N. Novikov, I. A. Novikov, N. A. Zagorodniy, A. G. Shevtsova. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Oryol State University named after I.S. Turgenev, 2020. - 419 p.
- 13 Tishkova, A. O. System of quality indicators for the passenger motor transport complex of the city / A. O. Tishkova, N. N. Yakunin, N. V. Yakunina // University complex as a regional center of education, science and culture: collection of materials of the All-Russian scientific and methodological conference, Orenburg, January 26-27, 2023. - Orenburg: Orenburg State University, 2023. - P. 3130-3136.
- 14 Yandex. Maps - transport, navigation, place search. – Access mode: <https://yandex.ru/maps/>
- 15 Kulikov, A. V. The possibility of using telematics systems in the interaction nodes of passenger transport of a city with a population of over a million using the example of Volgograd / A. V. Kulikov, A. A. Valkovskaya // XVIII International Scientific and Practical Conference "Advanced Technologies in Transport Systems" (Orenburg, November 15-17, 2023); Orenburg State University. – Orenburg, 2023. – P. 224–231.
- 16 Official statistics // Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Volgograd Region: official website. – Access mode: <https://34.rosstat.gov.ru>.
- 17 Antyufeev, A. V. Planning of transport hubs in linear cities (on the example of Volgograd) / A. V. Antyufeev // Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. - 2024. - No. 1 (94). - P. 224-233.
- 18 Kulikov, A. V. Digital concept of an intelligent transport system of passenger transport of a metropolis and its agglomeration / A. V. Kulikov // XVI All-Russian multi-conference on management problems (MKPU-2023): materials of the multi-conference. In 4 volumes, Volgograd, September 11-15, 2023. Volume 4. - Volgograd: Volgograd State Technical University, 2023. - P. 215-220.
- 19 Egorov, R. V. Compilation of a graph of the transport network of city objects / R. V. Egorov, V. V. Shorin // Competition of scientific research works of students of Volgograd State Technical University: Abstracts of reports, Volgograd, April 25-29, 2022 / Editorial board: S. V. Kuzmin (editor) [et al.]. - Volgograd: VolGTU, 2022. - P. 124.
- 20 Bliznyakova, E. A. Comparative analysis of methods for finding the shortest path in a graph / E. A. Bliznyakova, A. A. Kulikov, A. V. Kulikov // Architecture, construction, transport. - 2022. - No. 1. - P. 80-87. - DOI 10.31660 / 2782-232X-2022-1-80-87.
- 21 Certificate of state registration of the computer program No. 2023664443 Russian Federation. Program for calculating the directed graph of the transport network: No. 2023663947: declared. 05.07.2023: publ. 05.07.2023 / A. V. Kulikov, E. N. Aseeva, E. R. Sulimeno-nova, A. A. Kulikov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University".
- 22 Certificate of state registration of computer program No. 2022616507 Russian Federation. Compilation of a transport network graph of city facilities: No. 2022616251: declared 12.04.2022: published 12.04.2022 / A. V. Kulikov, R. V. Egorov, V. V. Shorin; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University".
- 23 Vlasov, V. M. Transport telematics in the road field: textbook. manual / V. M. Vlasov, D. B. Efimenko, V. N. Bogumil; Moscow Automobile and Road State Technical University. - Moscow: MADI, 2013. - 80 p.
- 24 Kulikov, A. V. Prospects for "seamless" passenger transportation in the transport systems of Russian million-plus cities (using Volgograd as an example) / A. V. Kulikov, L. B. Mirotin, A. A. Valkovskaya // Sociology of the city. - 2022. - No. 1-2. - P. 93-116.

- 25 Antyufeev, A. V. Linear city. Urban development system "Greater Volgograd" / A. V. Antyufeev, G. A. Ptichnikova; Volgograd State Technical University. – Volgograd: Volgograd State Technical University, 2018. – 197 p.
- 26 Vlasov, D. N. Transport hubs: Monograph / D. N. Vlasov. – Moscow: Moscow State University of Civil Engineering|IPR Media|EBS ASV, 2017. – 192 p.
- 27 Bus stops in Volgograd on the map. – Access mode: <https://2gis.ru/volgograd/search/>.
- 28 Routes and schedule. MetroElectroTrans: official website. – Access mode: <https://gortransvolga.ru/routes/>.
- 29 Directory of Volgograd routes. – Access mode: <https://wikiroutes.info/volgograd/catalog>.
- 30 Methodological aspects of transport service quality management / O. V. Saginova, I. V. Spirin, N. B. Zavyalova, R. R. Sidorchuk // MIR (Modernization. Innovations. Development). - 2016. - Vol. 7, No. 2 (26). - P. 28-37.

© Куликов А. В., Миротин Л. Б., Вальковская А. А., Куликов А. А., 2024