На правах рукописи



БРЯНСКИХ Татьяна Борисовна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ПАРКИРОВАНИЯ ЗА СЧЁТ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА НА ПРИЛЕГАЮЩЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: **Зедгенизов Антон Викторович,**
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Шевцова Анастасия Геннадьевна**
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Институт дополнительного образования и профессионального обучения «Высшая технологическая школа БГТУ им. В.Г Шухова», директор;

Дорохин Сергей Владимирович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кафедра автомобилей и сервиса, профессор.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».**

Защита состоится «18» февраля 2027 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.05 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, аудитория № 220. Тел./факс: (812) 316-58-73; e-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/bryanskih-tatyana-borisovna

Автореферат диссертации разослан: «07» декабря 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета С.В. Репин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Современные тенденции развития нашей цивилизации направлены на преимущественное проживание населения в городах. Такая тенденция характерна для большинства стран Мира и приводит к значительной концентрации населения на ограниченной территории. Плотность населения в городах России сегодня может достигать 5000 чел/км^2, что требует внедрения целого комплекса мероприятий, направленных на оценку потребностей в передвижении и реализацию мероприятий по организации этих передвижений. Вместе с высокой плотностью населения современных городов, причиной которой часто выступают жилые микрорайоны высокой этажности, имеющие схожие режимы функционирования по периодам возникновения спроса на поездки, значительную роль в организации транспортного обеспечения играет эффективность организации дорожного движения на пересечениях непосредственно обслуживающих прилегающие территории таких микрорайонов, а также организация паркирования и движения автомобильного транспорта индивидуального пользования (АТИП) в границах жилых территорий.

Прогрессивное развитие строительной отрасли, уплотнение застройки, а также изменение социального уклада и привычек, определяющих транспортный спрос жителей многоэтажной жилой застройки, требуют создания методики, использующей научно обоснованные зависимости по генерации корреспонденций и особенностям функционирования прилегающей улично-дорожной сети к многоэтажной жилой застройке. Наличие методики транспортного обеспечения жителей многоэтажной жилой застройки с учётом использования автомобильного транспорта позволит принимать взвешенные решения в градостроительной политике, оптимизировать организацию дорожного движения в зоне прилегающей улично-дорожной сети (УДС) крупных микрорайонов, а также повысить эффективность организации дорожного движения и транспортного обеспечения жителей многоэтажной жилой застройки. В настоящем диссертационном исследовании под термином прилегающей территории понимается многоэтажная жилая застройка, а под термином прилегающей УДС – местные проезды, накопительные дворовые площадки и специализированные парковки, а также подходы к запитывающим пересечениям с городской УДС.

Степень разработанности темы исследования. Значимый вклад в развитие транспортных систем, формирования спроса на поездки, а также организации движения внесли И.С. Ефремов, Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Г.В. Шелейховский, В.М. Власов, С.В. Жанказиев, С.А. Евтюков, В.В. Зырянов, А.И. Солодкий, А.Э. Горев, Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев, А.Ю. Белинский, Ю.В. Трофименко, А.В. Городков, В.И. Рассоха, А.Н. Новиков, В.А. Черепанов, И.Н. Пугачёв, Д.С. Самойлов, А.М. Плотников,

Н.С. Пальчиков, Л.А. Лосин, Вукан Р. Вучик, В.В. Шештокас, Г.А. Гольц, В.М. Курганов, Ю.Г. Котиков, В.Н. Лившиц, А.И. Стрельников, М.Р. Якимов, Э.А. Сафронов, А.В. Сигаев, И.М. Смоляр, В.А. Юдин, У. Бранольте, А.Н. Асуал, J. Ortuzar, R. Kitamura, E. Ohstrom, K. Goulias, G.A. Carrothers, A.M. Voorhees, A.G. Wilson и многие другие ученые.

Цель исследования – разработка методики транспортного обеспечения жителей, направленной на повышение эффективности организации дорожного движения и паркирования на прилегающей улично-дорожной сети за счёт оценки транспортного спроса.

Задачи исследования:

1. Осуществить аналитический обзор существующих методик оценки транспортного спроса прилегающей УДС, выполнить экспериментальные исследования прилегающей территории, статистический анализ, полученных данных и на их основе выявить количественные характеристики, отражающие эффективность ОДД и паркирования.

2. Получить закономерности регрессионной связи между интенсивностью АТИП, количественными характеристиками и параметрами позиционирования прилегающей УДС.

3. Получить функциональные зависимости, позволяющие оценивать потребную площадь для паркирования АТИП в соответствии с количественными характеристиками прилегающей УДС.

4. Разработать методику транспортного обеспечения жителей прилегающей территории на основе полученных закономерностей регрессионной связи и функциональных зависимостей.

5. Разработать прикладное программное обеспечение и на его основе реализовать расчётный цикл методики.

6. Произвести оценку технико-экономической эффективности методики на основе производственного внедрения её результатов.

Объектом исследования является процесс организации движения и паркирования АТИП при транспортном обеспечении прилегающей УДС.

Предметом исследования являются закономерности организации движения и паркирования, основанные на особенностях формирования интенсивности АТИП при транспортном обеспечении прилегающей УДС.

Рабочая гипотеза состоит в том, что эффективность транспортного обеспечения жителей прилегающих территорий можно существенно повысить путём разработки и внедрения методики, позволяющей оценивать интенсивность АТИП и потребную площадь для паркирования в зависимости от параметров прилегающей территории.

Методологическая основа исследования:

- комплекс теоретических и экспериментальных методов анализа параметров расположения прилегающей территории обслуживаемой УДС и её количественных характеристик, обусловливающих её функционирование;

- системный анализ, теория вероятности, математическая статистика, теория алгоритмов, натурное и математическое моделирование.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5 – «Эксплуатация автомобильного транспорта», п. 5 Организация и управление грузовыми и пассажирскими автомобильными перевозками, автотранспортными потоками, транспортное планирование и моделирование.

Научная новизна исследований:

1. Обоснованы параметры функционирования прилегающей УДС, позволяющие оценить степень её загрузки с учётом рациональной продолжительности паркирования, наполнения автомобильного транспорта индивидуального пользования, суточной неравномерности спроса на передвижения и распределения доли потоков, применяющих автомобильный транспорт индивидуального пользования.

2. Впервые получена и обоснована закономерность интенсивности автомобильного транспорта индивидуального пользования от параметров функционирования прилегающей УДС и её дислокации с инфраструктурой.

Теоретическая значимость исследования заключается в расширении знаний о процессах функционирования прилегающей УДС и возникновении интенсивности автомобильного транспорта индивидуального пользования, обусловленной транспортным спросом. Полученные функциональные зависимости позволяют исследовать процесс функционирования прилегающей УДС, оценивать и прогнозировать интенсивность автомобильного транспорта индивидуального пользования, потребную площадь для паркирования. Предложенная методика позволяет оценить эффективность организации движения и транспортного обслуживания прилегающей УДС.

Практическая значимость работы. Заключается в возможности применения предложенной методики, основывающейся на алгоритме, оценивающем степень влияния прилегающей УДС на эффективность организации дорожного движения, запитывающего пересечения, позволяющем рассчитать потребную площадь для паркирования автомобильного транспорта индивидуального пользования. В контексте методики оценивается условие: если полученное значение эффективности организации дорожного движения ниже критического уровня, то это требует внесения изменений в организации дорожного движения при принятии градостроительного решения о размещении соответствующих центров массового тяготения в планируемом месте. Методика может применяться в проектных институтах, транспортных и градостроительных лабораториях, специализированных учреждениях, занимающихся оптимизацией планирования и организацией перевозок, разработкой генеральных планов городов и сельских

поселений, транспортным планированием, организацией и безопасностью движения, проектами землепользования; в высших учебных заведениях, что позволит повысить качество подготовки специалистов в области организации дорожного движения, транспортного планирования и управления перевозками пассажиров.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Интенсивность АТИП следует определять по закономерностям высокой регрессионной связи по присущим уникальным свойствам прилегающей территории, которые определяются на основе её количественных характеристик функционирования.

2. Потребную площадь для паркирования следует определять по функциональным зависимостям, в основе которых лежат количественные характеристики и параметры расположения прилегающей территории, что позволит повысить эффективность транспортного обеспечения её жителей.

3. Предложенная методика, основывающаяся на оценке и прогнозировании интенсивности АТИП, а также потребной площади для паркирования позволяет оценить и повысить эффективность транспортного обеспечения жителей.

Личный вклад автора заключается в: статистической обработке натурных исследований и их группировке для регрессионного анализа; получении коэффициентов, отражающих неравномерность загрузки прилегающей УДС по часам суток; выявлении количественных характеристик прилегающей территории, обусловливающих её функционирование и позволяющих производить расчет удельной генерации корреспонденций, интенсивности АТИП, потребного площади парковки; установлении зависимости, отражающей интенсивность АТИП на основе выявленных количественных характеристик прилегающей УДС; получении функциональных зависимостей, отражающих взаимосвязь между характеристиками функционирования прилегающей УДС и потребной площади паркирования; разработанной методики транспортного обеспечения по средствам применения выявленных зависимостей; проведенной производственной проверке, позволяющей подтвердить высокую точность и эффективность научных результатов настоящего исследования.

Методы и средства исследования. Экспериментальные исследования прилегающей территории с учётом этажности проводились в виде пассивного эксперимента, включающего учет особенностей расположения запитывающих сечений и рельефа местности, направленного на фиксацию ключевых моментов прибытия/убытия посетителей, в том числе и на АТИП. Использованы методы статистического анализа и математического моделирования. Обработка экспериментальных данных осуществлялась на основе методов математической статистики с использованием программ Statistica, Excel и др.

Предполагаемые формы внедрения и ожидаемые результаты. Предлагаемая методика, сопровождающие её справочные данные, налагаемые ограничения и основные выводы могут быть внедрены в организациях, занимающихся организацией и безопасностью дорожного движения, проектами градостроительства и развития территорий, транспортным планированием, а также в учреждениях государственной власти, принимающих транспортные и градостроительные решения. Внедрение методики позволит уже на стадии проектирования застройки территории повысить информативность и точность прогнозов эффективности транспортного обеспечения, снизить их трудоёмкость.

Апробация работы. В период с 2022 по 2026 гг. материалы и результаты проведенного научного исследования представлены и получили одобрение на: XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев», 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа (г. Иркутск, 13-14 октября 2022 г.; XV Международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 26-29 октября 2022 г.); IX Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», (г. Орёл, 15 - 18 мая 2023 г.); XVI Международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 2024 г.); XVII Международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 2026 г.).

Реализация результатов работы.

Результаты исследований внедрены в МКУ «Дирекция автомобильных дорог и мостов» г. Тюмени при выполнении проектов по содержанию ремонту и проектированию автомобильных дорог.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 работ общим объемом 3,08 условных печатных листа, в т. ч. 5 публикаций в изданиях перечня ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и выводов по работе, изложена на 142 страницах машинописного текста, включает 27 таблиц, 47 рисунков, 110 литературных источников.

Во введении обоснована актуальность научной проблемы по тематике диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, определены объект и предмет исследований, описаны методы исследований, представлена научная новизна и научные положения, выносимые на защиту, показана практическая значимость работы и реализация её результатов.

В первой главе отражено современное состояние организации дорожного движения. Методы оценки транспортного спроса и оценки эффективности организации дорожного движения, применяемые в исследованиях транспортных потоков. Проведена оценка влияния процесса паркирования на территории жилой застройки. Проанализированы нормативные документы, руководствуясь которыми осуществляется планировка, застройка и транспортное обеспечение городских территорий.

Вторая глава посвящена выявлению факторов, лежащих в основе эффективности транспортного обеспечения прилегающей УДС. Для этого рассмотрена классификация жилых объектов в разные периоды развития, как в России, так и за рубежом. Исследованы факторы, влияющие на интенсивность транспортных потоков и площадь парковочного пространства. Все исследования проводились с учетом данных, полученных ранее в России и за рубежом для сопоставления полученных результатов с мировыми трендами. Выявлены наиболее значимые факторы для вычисления необходимой площади паркирования на придомовой территории. Также в данной главе математически описаны количественные характеристики функционирования многоэтажной жилой застройки: удельная генерация корреспонденций, средняя продолжительность паркирования, коэффициенты суточной неравномерности, доля жителей, использующих индивидуальный транспорт и среднее наполнение автомобилей. Предложено математическое описание потребности в парковочном пространстве возле многоэтажной жилой застройки и критериев эффективности транспортного обеспечения использующих автомобили индивидуального пользования.

В третьей главе подробно изложена методика проведения экспериментальных исследований. Описан процесс проведения необходимых натурных обследований, от выбора объекта исследования до занесения полученных данных в таблицы. Изложена последовательность действий при обработке, собранных в процессе натурного исследования данных и проведенного корреляционно-регрессионного анализа, что в совокупности позволило определить взаимосвязь интересующих нас факторов.

В четвертой главе диссертации сформулированы результаты статистического анализа экспериментальных данных транспортного обеспечения прилегающей УДС и представлены количественные характеристики функционирования. Приведены: функциональные зависимости, позволяющие оценивать потребную площадь для паркирования, основанные на количественных характеристиках прилегающей территории; закономерность высокой регрессионной связи между интенсивностью АТИП, количественными характеристиками функционирования прилегающей территории и её параметрами расположения; методика транспортного обеспечения прише-

гающей территории на основе выявленных закономерностей; расчёт экономического эффекта, возникающего при внедрении методики транспортного обеспечения жителей многоэтажной жилой застройки.

В заключении изложены основные итоги и выводы выполненного исследования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Интенсивность АТИП следует определять по закономерностям высокой регрессионной связи по присущим уникальным свойствам прилегающей территории, которые определяются на основе её количественных характеристик функционирования.

Интенсивность АТИП, олицетворяющая исходные данные для оценки эффективности организации движения на прилегающей УДС, может быть определена на основе количественных характеристик функционирования прилегающей территории: *удельная генерация корреспонденций* – число посетителей прилегающей территории (N), отнесенных на единицу площади этой территории (S), чел/м^2 $G = \frac{\sum_{i=1}^{n} N}{S}$; *коэффициенты суточной неравномерности* – показывают долю загрузки территории, которая приходится на рассматриваемый час $k_{\text{сн}} = \frac{N_{\text{час}}}{N_{\text{сут}}}$, где $k_{\text{сн}}$ – коэффициент суточной неравномерности за рассматриваемый час, $N_{\text{час}}$ – число корреспонденций, совершенных за рассматриваемый час; $N_{\text{сут}}$ – суммарное число корреспонденций за сутки; *средняя продолжительность паркирования АТИП (t_p)* является одним из ключевых показателей функционирования прилегающей территории, на её основе производится расчет потребной площади для паркирования и, соответствующего ей числа мест, прибывающих на АТИП $t_p = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_{\text{у}} - t_{\text{п}})}{n}$ где t_y – время убытия, ч:мин; t_n – время прибытия, ч:мин; n – число замеров (число автомобилей за день/смену); *распределение доли жильцов и посетителей на АТИП* показывает какая доля корреспонденций совершается с использованием АТИП; *среднее наполнение АТИП* – характеризует производительность АТИП и позволяет осуществить перерасчёт транспортного спроса на АТИП, выраженного в корреспонденциях в интенсивность АТИП, выраженного в ед/ч. Предложенные количественные характеристики частично заимствованы из исследований Зедгенизова А.В.

Выявление количественных характеристик требует проведения трудоёмких натурных экспериментов и в рамках диссертационного исследования было проведено более 40 таких экспериментов (рис. 1). Эксперимент требует одновременного задействования нескольких учётчиков, которые

сменяются по истечении 3 часов непрерывного фиксирования искомых событий. Важно отметить, что в ходе натурного эксперимента выявляются не сами количественные характеристики, а их искомые события, совокупность которых приводится к ним, например, количество посетителей на АТИП будет определяться исходя из двух искомых событий: числа автомобилей за рассматриваемый период и их среднего наполнения (рис. 2).



Рисунок 1 – План проведения эксперимента по адресу
ул. Верхняя Набережная 169 г. Иркутск

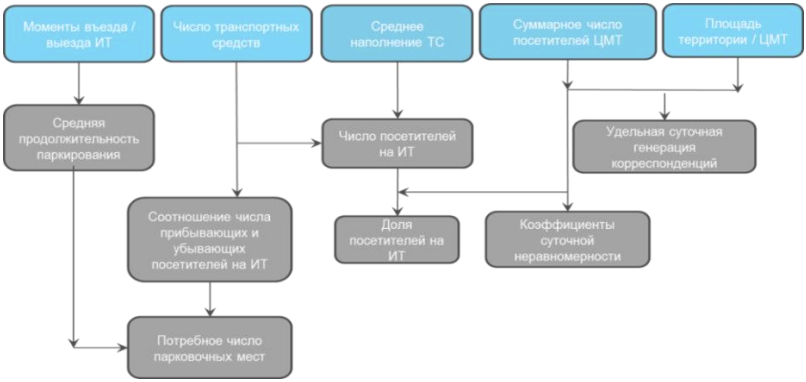

Рисунок 2 – Связь параметров натурных исследований

Таким образом, возможно получить закономерность высокой регрессионной связи между интенсивностью АТИП, количественными характеристиками функционирования прилегающей территории и её параметрами расположения (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты регрессионного анализа интенсивности АТИП

Регрессионного-корреляционная статистика					
Коэффициент корреляции R			0,91		
R-квадрат			0,82		
Нормированный R-квадрат			0,80		
Стандартная ошибка			34,94		
Групп наблюдений/выборка			37/4670		
Дисперсионный анализ					
	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера-Снедекора F		
			$F_{расч}$	$F_{95\%;4;32}$	
Регрессия	4	188982,11	38,69	2,87	
Остаток	32	39067,53			
Итого	36	228049,65			
t-статистика					
	Коэффициенты регрессии	t-статистика	95%-ный доверительный предел		
		$t_{расчет}$	$t_{95\%;32}$	нижний	верхний
Y Интенсивность АТИП, ед/сутки	106,00	2,65	2,02	24,60	187,40
X_1 Площадь прилегающей территории, м^2	0,00089	9,64		0,0007	0,001
X_2 Доля АТИП средняя	58,27	2,08		1,39	115,15
X_3 Расстояние объекта от центра города, м	0,00770	3,47		0,003	0,01
X_4 Среднее наполнение АТИП, чел	-109,88	-4,39		-160,78	-58,97

Таким образом, учитывая, статистические ограничения для практического применения следует рекомендовать зависимость, позволяющую вычислить интенсивность АТИП, возникающую на запитывающих пересечениях прилегающих территорий:

$$N_{АТИП} = b_0 + b_1 \cdot S + b_2 \cdot D_{АТИП} + b_3 \cdot L_ц - b_4 \cdot E_{АТИП} \quad (1)$$

$$N_{АТИП} = 106 + 0{,}0009 \cdot S + 58{,}27 \cdot D_{АТИП} + 0{,}008 \cdot L_ц - 109{,}88 \cdot E_{АТИП}$$

где b_0 – коэффициент регрессии свободного члена, ед/ч; b_1 – коэффициент регрессии первого члена, ед/ч м^2; b_2 – коэффициент регрессии второго члена, ед/ч; b_3 – коэффициент регрессии третьего члена, ед/ч м; b_4 – коэффициент регрессии четвёртого члена, ед/ч чел; S – площадь прилегающей

территории с учётом этажности, м^2; $D_{АТИП}$ – доля жителей (посетителей) использующих АТИП; $L_ц$ – расстояние прилегающей территории от центра города, м; $E_{АТИП}$ – среднее наполнение АТИП, чел. Совершенно очевидно, что эмпирическое уравнение будет адекватно отображать функцию отклика только в допустимых пределах, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимые диапазоны факторов

Факторы	Значение диапазона
Площадь объекта, м^2	$2356 \leq S \leq 249000$
Доля АТИП средняя	$0{,}2 \leq D_{\text{АТИП}} \leq 0{,}9$
Расстояние объекта от центра города, м	$880 \leq L_{\text{ц}} \leq 12196$
Среднее наполнение АТИП, чел	$1{,}15 \leq E_{\text{АТИП}} \leq 1{,}97$

При разных значениях параметров, входящих в модель (1) будет наблюдаться разброс расчётной интенсивности АТИП, нагляднее всего это видно на графике (рис. 3).

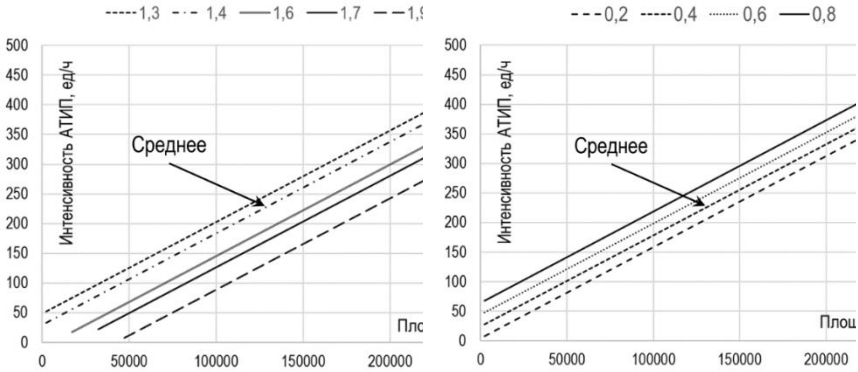

Рисунок 3 – Зависимость интенсивности АТИП от площади прилегающей территории *слева:* при разном среднем наполнении АТИП и при доле жильцов и посетителей на АТИП 0,4; *справа:* при разной доле жильцов и посетителей на АТИП и при среднем наполнении АТИП 1,4; а также при расстоянии прилегающей территории от центра города 5000 м. и коэффициенте суточного максимума 0,11

Важно отметить, что города с разной численностью населения, планировкой, а также разные микрорайоны одного города могут иметь отличия в среднем наполнении АТИП или, что более важно, средней доле жильцов и посетителей использующих АТИП. В этом случае, используя зависимости (рис. 3), можно корректировать расчётные значения. При отсутствии соответствующих исследований рекомендуются усреднённые значения.

Таким образом, можно заключить, что при прочих усреднённых параметрах модели **каждая тысяча квадратных метров прилегающей территории генерирует 1,73 ед/ч АТИП.**

2. Потребную площадь для паркирования следует определять по функциональным зависимостям в основе которых лежат количественные характеристики и параметры расположения прилегающей территории, что позволит повысить эффективность транспортного обеспечения её жителей.

В среднем в России на 1 тыс. жителей приходится 313 легковых автомобилей. Актуальность паркинга возле жилой многоэтажной застройки возрастает. Большое влияние на задачу паркинга возле жилой многоэтажной застройки оказывают рост доли поездок на АТИП, а также изменение культуры кратковременного хранения автомобилей возле жилой застройки. Эту задачу необходимо решать на этапе проектирования жилого объекта.

Учитывая, что в основе настоящего диссертационного исследования, а также методики транспортного обеспечения жителей лежат количественные характеристики прилегающей территории, основное определение которым дано в первом научном положении, следует привести основные статистические параметры этих характеристик (табл. 3).

Особое место в перечне количественных характеристик функционирования прилегающей территории занимают коэффициенты суточной неравномерности, которые позволяют оценить загрузку прилегающей территории как в пиковые периоды, так и в любой другой интересующий период суток (рис. 4). Как и другие количественные характеристики, коэффициенты суточной неравномерности были получены на основе натурных экспериментов.

Таблица 3 – Стат. параметры основных характеристик прил. территорий

Статистический параметр	Количественные характеристики прилегающих территорий				
	Удельная генерация корреспонденций, чел/м^2	Средняя продолжительности паркирования, мин	Распределение доли жильцов и посетителей на АТИП	Среднее наполнение АТИП, чел/ед	Коэффициент суточного максимума
Ср. ариф.	0,04	160	46,50	1,49	0,14
Стандартное отклонение	0,02	99,90	22,50	0,19	0,04
Минимальное значение	0,02	62	20	1,15	0,07
Максимальное значение	0,07	408	89	1,97	0,25
Размах выборки	0,07	346	69	0,82	0,18

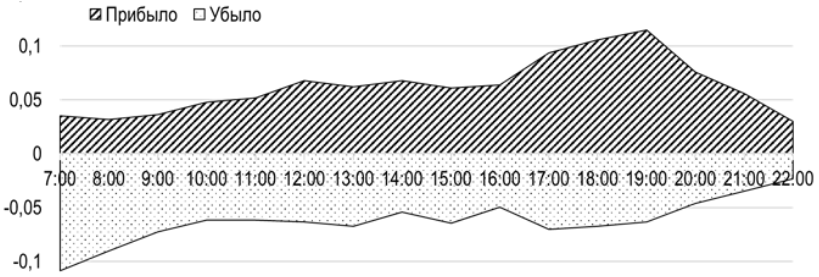

Рисунок 4 – Зависимость коэффициента суточной неравномерности прилегающей территории по часам суток

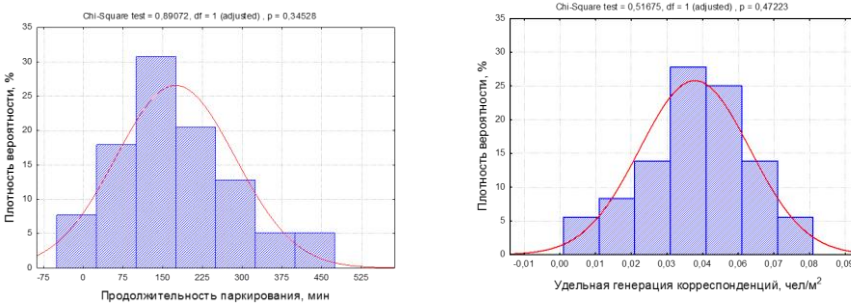

Рисунок 5 – Гистограмма распределения плотности-вероятности: слева – продолжительности паркирования АТИП; справа – удельной генерации корреспонденций. В обоих примерах расчётное значение хи-квадрат Пирсона не превышает критическое для рассматриваемого уровня значимости

Выборка каждой количественной характеристики оценивалась на нормальность распределения, примеры для удельной генерации корреспонденций и продолжительности паркирования представлены на соответствующих гистограммах плотности-вероятности (рис. 5).

Как показал, проведённый подробный корреляционный анализ, на потребную площадь для паркирования на прилегающей УДС и, следовательно, на потребное число парковочных мест будут влиять те же факторы, что и на интенсивность АТИП, дополнительно следует учитывать важнейший параметр – среднюю продолжительность паркирования АТИП, следовательно можно использовать математическую зависимость, впервые, предложенную Зедгенизовым А.В. для оценки потребного числа мест для паркирования, с учётом потребностей настоящего исследования и позволяющую проводить расчет потребной площади паркирования:

$$S_{\text{п}} = \frac{S_{\text{м}} \cdot G \cdot S \cdot d_{\text{ит}} \cdot k_{\text{сн}} \cdot t_p}{e_{\text{ит}} \cdot 60}, \quad (2)$$

где $S_м$ – площадь одного машиноместа с учётом проездов, м^2; G – удельная генерация корреспонденций, чел/м^2; $d_{\text{ит}}$ – доля посетителей на ИТ; $k_{\text{сн}}$ – коэффициент суточной неравномерности (как правило, для часа с максимальной загрузкой); $e_{\text{ит}}$ – среднее наполнение АТИП, чел.; t_p – средняя продолжительность паркирования АТИП, мин; 60 – переводной коэффициент из минут в часы; S – площадь прилегающей территории с учётом этажности, м^2. Математическая модель (3) позволяет, непосредственно, получить потребную площадь для паркирования, что и требуется для принятия градостроительно-транспортных решений. При разных значениях параметров, входящих в модель (2) будет наблюдаться разброс потребной площади для паркирования АТИП, нагляднее всего это видно на графике (рис. 6).

Кроме, предложенных графиков оценки потребной площади паркирования АТИП, учитывая, её линейную зависимость можно, для упрощения расчётов предложить уравнения тренда для разных условий (табл. 4).

Таблица 4 – Уравнения тренда зависимости потребной площади паркирования АТИП на прилегающей УДС

Уравнение тренда $S_п = x*S_{ПТ}$	Средняя продолжительность паркирования, мин.	Уравнение тренда $S_п = x*S_{ПТ}$	Среднее наполнение АТИП	Уравнение тренда $S_п = x*S_{ПТ}$	Доля жильцов и посетителей на АТИП
0,06	100	0,12	1,2	0,04	0,2
0,07	120	0,11	1,3	0,09	0,4
0,09	140	0,10	1,45	0,10	0,45
0,10	159	0,09	1,6	0,13	0,6
0,11	180	0,08	1,7	0,17	0,8
0,12	200	0,07	1,9	0,04	0,2

Таким образом, можно заключить, что при прочих усреднённых параметрах модели 2 **каждая тысяча квадратных метров прилегающей территории с учётом этажности требует 100 м^2 площади для паркирования АТИП в дневной и 367 м^2 в ночной периоды**. При перерасчёте на 1 квартиру этот норматив составит 0,5 и 1,84 машино-места, соответственно. Полученное нормативное значение 1,84 больше на 0,54 парковочных мест/квартиру или 70 % чем в СП 42.13330.2016. Такая потребность паркирования характерна для крупных и крупнейших городов по классификации выше указанного СП, но только для экономического класса жилья, при уровне автомобилизации 315 авт/1000 жителей. Одновременно с этим, в России по данным 2024 года число домохозяйств составляет 53 млн.ед.,

а число зарегистрированных легковых автомобилей – 50,3 млн. ед., соответственно на 1 домохозяйство приходится 0,94 авт. Таким образом, исследование и математическая модель 2 подтверждают необходимость в увеличении норматива на паркирование при транспортном обеспечении прилегающей УДС.

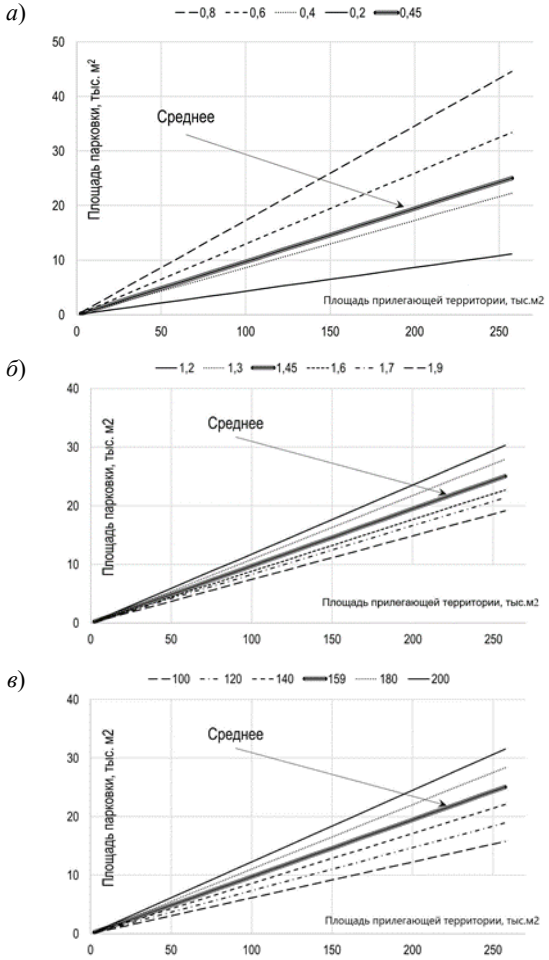

Рисунок 6 – Зависимость потребной площади паркирования АТИП на прилегающей УДС: *а*) при разной доле жильцов на АТИП; *б*) при разном наполнении АТИП; *в*) при разной продолжительности паркирования; удельной генерации 0,04 чел/м^2; коэффициенте суточного максимума 0,148

Отсюда и возникают сложности в транспортном обеспечении жителей прилегающих территорий. Следовательно, для создания методики транспортного обеспечения жителей прилегающих территорий имеется весь научно-практический инструментарий.

3. Предложенная методика, основывающаяся на оценке и прогнозировании интенсивности АТИП, а также потребной площади для паркирования позволяет оценить и повысить эффективность транспортного обеспечения жителей.

Оценка эффективности транспортного обеспечения жителей прилегающих территорий может быть оценена в двух основных направлениях, первое, связано с оценкой эффективности ОДД на пересечениях, запитывающих, рассматриваемую территорию, а второе связано с наличием достаточной площади для паркирования на прилегающей УДС.

Первое направление может быть легко оценено на основе критериев нормативной литературы ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов, ГОСТ Р 58653-2019 Дороги автомобильные общего пользования, Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2018 г. N 1379 "Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета", ключевым критерием, которых является уровень обслуживания, основанный на коэффициенте загрузки движения: $z = N/P$, где N – интенсивность движения АТИП, которая складывается из транзитного транспортного потока и потока АТИП, генерируемого прилегающей территорией, авт/ч; P – фактическая пропускная способность, авт/ч., которая определяется стандартным способом на основе геометрических параметров УДС и конфликтующих интенсивностей. Из соображений экономии места, математические модели оценки пропускной способности элементов УДС в автореферате не приводятся.

Второе направление базируется на наличии/отсутствии места для паркирования (достаточности площади для паркирования), причём эта грань настолько «тонкая», что наличие мест от 0 до 100 % может расцениваться как удовлетворительная эффективность паркирования, однако, как только возникает событие 100 % занятость мест +1 заявка на паркирование, то это состояние уже не удовлетворительное с точки зрения эффективности паркирования. Таким образом, необходимо выявить соотношение числа АТИП спрос на паркирование которых удовлетворяется при первом требовании. 95 % вероятность наличия свободного места на парковке продиктовано правилом 2 сигм: вероятность попадания значения в границы составляет примерно 95,5 %. Для консолидации предложенных выше решений следует показать алгоритм оценки эффективности транспортного обеспечения жителей (рис. 7).

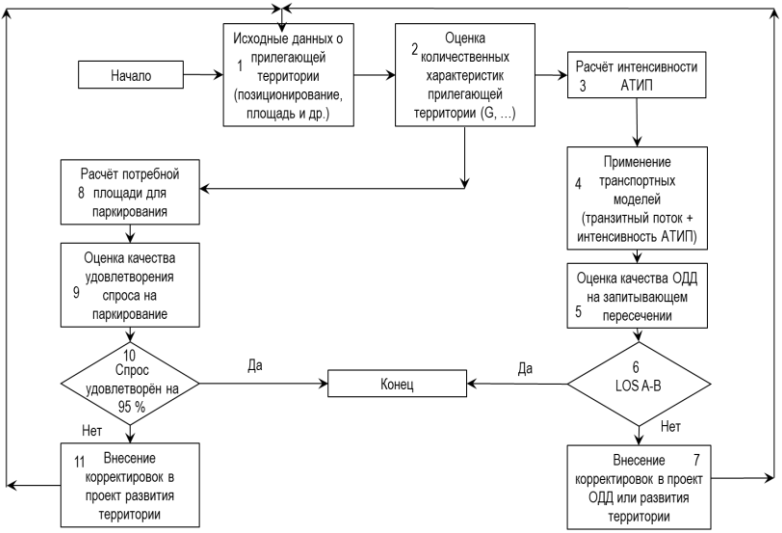

Рисунок 7 – Алгоритм оценки эффективности транспортного обеспечения жителей, использующих АТИП

В соответствии с предложенным алгоритмом целесообразно описать его итерации. **На первом шаге**, необходимо собрать всю информацию имеющую отношение к проекту размещения прилегающей территории: прежде всего, позиционирование участка застройки, площадь застройки, площадь, планируемая под парковку АТИП, удалённость от центра города и магистральных улицы, дислокация запитывающего пересечения, его тип, сведения об ОДД (циклограмма, знаки приоритета, число полос и др. особенности), интенсивность транспортных потоков запитывающего пересечения на пиковый час и другие сведения при необходимости.

На втором шаге, необходимо оценить и/или принять основные количественные характеристики функционирования прилегающей территории с учётом этажности. При отсутствии натурных исследований в конкретной местности следует выбирать предложенные с учётом основных описательных статистик. Далее задачи распределяются на два параллельных потока, первый из которых (правый), требует вычислить интенсивность АТИП и, соответственно, оценить степень влияния прилегающей УДС на эффективность ОДД запитывающего пересечения, а второй (левый) требует рассчи-

тать потребную площадь для паркирования АТИП и, соответственно, оценить эффективность удовлетворения спроса на паркирования АТИП на прилегающей УДС.

Третий шаг, позволяет рассчитать интенсивность АТИП, возникающую вследствие функционирования рассматриваемой территории. Для этого используется эмпирическая зависимость 1 с учётом ограничений (табл. 2). При отклонении среднего наполнения или средней доли АТИП от предложенного среднего значения можно пользоваться графиками, изображёнными на рисунке 3. Важно отметить, что прилегающая территория с учётом этажности, особенно в случае уплотнения требует учёта перераспределения транспортных потоков на сети, что может быть реализовано с помощью средств моделирования, например, в среде PTV Visum.

Четвёртый шаг позволяет получить интенсивность на запитывающем пересечении, для этого, полученное значение на **третьем шаге,** необходимо скорректировать коэффициентом суточной неравномерности для получения значения для выбранного периода суток, как правило, на пиковый период (0,11). Далее необходимо суммировать интенсивность АТИП с уже существующей интенсивностью транзитного транспортного потока на соответствующем подходе пересечения. Если подход, запитывающего пересечения имеет несколько направлений движения (лево, право, прямо), то добавочная интенсивность АТИП (генерируемая прилегающей территорией с учётом этажности) распределяется между этими направлениями пропорционально транзитному потоку. В случае применения средств математического моделирования, эмпирическая зависимость может быть использована в качестве норматива при оценке генерирующей способности новой прилегающей территории.

Пятый шаг посвящён оценке эффективности ОДД на запитывающем пересечении, которая осуществляется согласно нормативной литературе (ОДМ 218.6.003-2011, ГОСТ Р 58653-2019) с учётом типа пересечения. Важно отметить, что методика позволяет оценить задержки АТИП, длины очередей и уровень обеспечения, который по критериям длин очередей и задержек считается благополучными в диапазоне A-B.

На **шестом шаге** оценивается условие: если полученное значение LOS ниже уровня B, то это показывает необходимость внесения изменений в ОДД при принятии градостроительного решения о размещении территории в планируемом месте, в противном случае, эффективность ОДД не будет соответствовать действующим нормам. Следует добавить, что вступивший в силу в 2017 г. 417 ФЗ требует выполнения проектов ОДД при принятии

градостроительных решений, связанных с уплотнением застройки или изменения её параметров. Кроме этого, следует также отметить, что в некоторых случаях может оказаться так, что LOS на запитывающем пересечении и без планируемой застройки неудовлетворительный, что дополнительно указывает на необходимость реконструкции пересечения или отказе от проекта застройки, который усугубит эффективность ОДД.

В случае, положительного ответа на условие **шестого шага** алгоритм завершается выводом о том, что предлагаемое градостроительное решение не повлечёт значительного изменения эффективности ОДД на прилегающей УДС. В случае, отрицательного ответа на **шестом шаге** выполняется **седьмой шаг**, направленный на внесение корректировок в проект ОДД или проект застройки. Как правило, корректировке подвергается проект ОДД, но в случае особого территориального расположения предлагаемой застройки, например, в историческом центре города или районе города, который уже перегружен центрами массового тяготения, например, находятся деловые, торговые центры, то в этом случае целесообразно корректировать проект застройки. Далее все расчёты повторяются, начиная с **первого шага**. Справедливо будет отметить, что для инженера, в случае отвода на **седьмой шаг** необходимо понимать на какую долю интенсивности АТИП или площади застройки следует сократить проект, чтобы условие **шестого** шага выполнялось, для этого, необходимо воспользоваться зависимостью 1 и соответствующей ей графиками зависимости интенсивности АТИП от площади многоэтажной застройки (рис. 3).

С **восьмого шага** начинается левая ветвь алгоритма, направленная на оценку эффективности удовлетворения спроса на паркирование на прилегающей УДС. Прежде всего, такая оценка требует расчёта потребной площади для паркирования, которая осуществляется по модели 2 или на основании зависимостей, представленных на рисунке 5 и соответствующих им уравнениям тренда.

На **девятом шаге** выявляется эффективность удовлетворения спроса на паркирование. В целом, спрос на паркирование, в соответствии с правилом двух сигм, будет считаться удовлетворительным при 95 % обеспеченности площадью для паркирования (парко-местами).

Если условие на **десятом шаге** выполняется положительно, то алгоритм завершается. В противном случае, алгоритм левой ветви уходит на **одиннадцатый шаг**, направленный на внесение корректировок проекта застройки. Следует отметить, что современная застройка требует достаточно

большой площади под паркирование, при усреднённых параметрах, это порядка 10 м^2 на каждые 100 м^2. В исследованиях Зедгенизова А.В. данный параметр для жилья средней этажности составил 7,2 м^2 на каждые 100 м^2. Таким образом, корректировка сводится к принятию двух решений, с одной стороны, для обеспечения потребной площади для паркирования можно снизить площадь застройки, например, за счёт снижения этажности, либо увеличить площадь паркирования за счёт, например, строительства паркинга в нескольких уровнях, как правило, подземных. Справедливости ради, следует учесть, что в некоторых случаях может возникнуть потребность в решении обратной задачи – подобрать участок застройки, отвечающий требованиям по паркированию и(или) эффективности ОДД.

В качестве валидации полученных научных результатов можно привести сопоставление натурного эксперимента, не задействованного в общей статистической обработке данных на примере коэффициентов суточной неравномерности, которые наиболее полно отражают характер функционирования прилагающей территории. Далее суть сводиться к получению частных КСН из этого «свободного» эксперимента («замер») и их сопоставление с предлагаемыми в качестве обобщённых значений КСН («расчёт») и части научной новизны исследования (рис. 8).

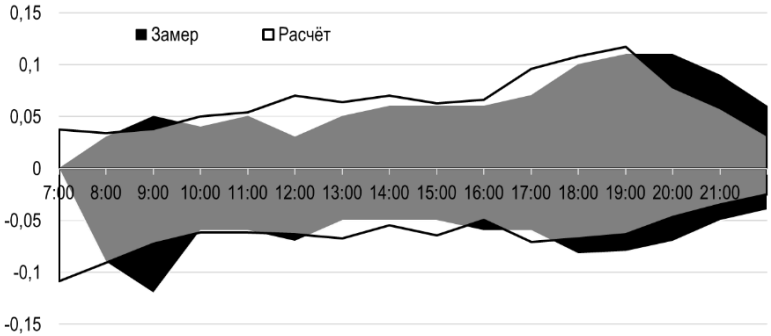

Рисунок 8 – Валидация коэффициентов суточной неравномерности

Погрешность теоретических положений (эмпирических и функциональных зависимостей) не превышает 15 %, а в среднем составляет 7,6 %, что для укрупнённых транспортных расчётов считается весьма достоверным результатом.

Проведя оценку косвенного экономического эффекта на один ПОД, в случае отсутствия мероприятий по корректировке ОДД убыток составит

2 587 477 руб/год для многоэтажной жилой застройки 62 000 м^2, следовательно, на каждые 1000 м^2, будет приходиться **41 508 руб/1000 м^2**. Ежегодно в Иркутске строится примерно 300 000 м^2, следовательно, в масштабах Иркутска это 776 243 100 руб./год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квалификация работы. В диссертационной работе на основе теоретических и научно-методических положений, разработанных научных положений, реализованных в функциональных и эмпирических зависимостях, а также экспериментальных исследованиях решена важная научная задача – разработана методика транспортного обеспечения жителей многоэтажной жилой застройки с новыми научно обоснованными техническими и технологическими решениями, внедрение которых вносит значительный вклад в социально-экономическое развитие автотранспортной отрасли страны.

1. На основе выполненных аналитического обзора и экспериментальных исследований функционирования прилегающей территории и её статистической обработки, выявлены количественные характеристики:

- удельная генерация корреспонденций, показывающая степень привлекательности прилегающей территории, варьирующаяся в диапазоне от 0,0168 до 0,0733 чел/м2, среднее 0,043 чел/м2. Наибольшей генерирующей способностью обладают территории с одно-двух комнатными квартирами;
- коэффициенты суточной неравномерности, показывающие степень загрузки прилегающей территории в течение суток и позволяющие получить пиковые значения: утренний час пик с 7–8 часов характеризуется значением 0,11 по убытию, а вечерний с 18 до 19 часов значением 0,1078 по прибытию;
- средняя продолжительность паркирования АТИП, направлена на выявление потребности в паркировании на прилегающей УДС и характеризуется средним значением – 160 мин., при диапазоне варьирования от 62 до 408 мин., что указывает на разную культуру временного хранения АТИП;
- распределение доли жильцов на АТИП, необходима для выявления потребной площади паркирования и оценки загрузки, прилегающей УДС, характеризуется средним значением в 46,5 % в диапазоне варьирования от 20 до 89 %. Большие значения характерны для более удалённой территории от линий ГПТ;

- среднее наполнение АТИП позволяет выявить интенсивность АТИП и характеризуется средним значением в 1,49 чел./авт. в диапазоне варьирования от 1,15 до 1,97 чел./авт. Большие значения характерны для жилья с более низкой стоимостью.

2. Получена закономерность регрессионной связи (R^2 = 0,82) между интенсивностью АТИП, обусловленной функционированием прилегающей УДС и параметрами её позиционирования. Зависимость имеет линейный характер, ключевыми факторами являются площадь прилегающей территории с учётом этажности, варьирующаяся в диапазоне от 2 365 до 249 000 м^2, доля АТИП, его среднее наполнение, а также расстояние от центра города не превышающее 12196 м. Для усреднённых параметров закономерности можно констатировать, что каждая тысяча квадратных метров прилегающей территории генерирует 1,73 ед./ч АТИП.

3. Получены функциональные зависимости, позволяющие оценивать потребную площадь для паркирования АТИП на основе количественных характеристик функционирования прилегающей территории. Зависимость носит линейный характер и при усреднённых значениях 1000 м^2 прилегающей территории с учётом этажности требует 100 м^2 площади для паркирования АТИП в дневной и 367 м^2 в ночной периоды. В соответствии с действующим нормативным значением точнее на 70 %.

4. Разработана методика транспортного обеспечения жителей прилегающих территорий на основе выявленных закономерностей между интенсивностью АТИП и параметрами позиционирования прилегающей УДС, а также функциональных зависимостей, позволяющих оценивать потребную площадь для паркирования АТИП. Методика, в частности, оценивает эффективность ОДД прилегающей УДС и, при необходимости, позволяет принимать градостроительно-транспортные решения развития территории на перспективу.

5. Разработано прикладное программное обеспечение и реализован расчётный цикл методики, позволяющий автоматизировать и снизить трудоёмкость расчётов, а также дать исчерпывающее градостроительно-транспортное решение, подтверждающее рабочую гипотезу.

6. Выполненная оценка технико-экономической эффективности методики на основе производственного внедрения её результатов подтверждает выдвинутую рабочую гипотезу и с высокой точностью отражает эффективность транспортного обеспечения жителей прилегающих территорий. При оценке добавочной интенсивности транспортного потока на прилегающие узлы УДС в случае уплотнения застройки возможна экономия до 41508 руб/1000 м^2 в год. Срок окупаемости результатов научных исследований в масштабах Иркутска составил 229 дней.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Брянских Т.Б. Оценка потребной площади при размещении жилых комплексов в плане урбанизированных территорий и их влияние на качество организации дорожного движения прилегающих улично-дорожной сети / Т.Б. Брянских, А.В. Зедгенизов, О.Н. Ларин // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3–4(78). – С. 88–94.
2. Брянских Т.Б. Оценка интенсивности движения индивидуального транспорта к жилым объектам высокой этажности в г. Иркутске / Т.Б. Брянских, А.В. Зедгенизов // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 3 (98). – С. 97–104.
3. Брянских Т.Б. Организация дорожного движения при транспортном обслуживании жителей многоэтажной застройки / Т.Б. Брянских, А.В. Зедгенизов, С.Ю. Курдюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-3 (82). – С. 96–101.
4. Брянских Т.Б. Методика организации паркирования автомобилей индивидуального использования жителей многоэтажной жилой застройки / Т.Б. Брянских // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3–4(82). – С. 53–60.
5. Брянских Т.Б. Выявление зависимостей количественных характеристик центров массового тяготения на примере жилья высокой этажности в г. Иркутске / Т.Б. Брянских, А.В. Зедгенизов, Н. И. Коломыльцев // ВЕСТНИК НЦБЖД. – 2024. – № 1 (59). – С. 127–133.

Работы, опубликованные в других изданиях

6. Брянских Т.Б. Методы оценки качества ОДД с учетом транспортного спроса // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: сборник материалов III Всероссийского форума. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2022. – С. 201–207.
7. Брянских Т.Б. Оценка количественных характеристик центров массового тяготения на примере жилья высокой этажности в г. Иркутске. / Т.Б. Брянских, А.В. Зедгенизов // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев», 55-летия Иркутского филиала

МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа. – Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. – С. 173–178.

Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 27.11.2026. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 120 экз. Заказ 124.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.