

## Корреляция объемов трафика на улицах с нерегулярным движением и характеристик точек притяжения городской среды на основе социологических исследований

*Т. Г. Бабич, А. А. Тестешев, С. П. Санников, Е. Н. Легостаева*

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема определения объемов движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом. Выполнен анализ исторической динамики урбанизации городов Российской Федерации. Рассмотрены различные типы планировок обучающихся учреждений (школьных и дошкольных) с учетом их вместимости и процентного распределения в городах Российской Федерации. Рассчитан объем выборки респондентов для проведения опросного социологического исследования. Представлены результаты исследования с учетом возрастного контингента, способа доставки обучающихся, дальности проживания от мест притяжения и т.д. Уточнена корреляционная зависимость интенсивности движения и плотности населения через мощность точек притяжения городской среды с использованием калибровочных коэффициентов, полученных по результатам социологического исследования посредством математической обработки. Выполнена сравнительная оценка зависимостей до и после калибровки по критериям достоверности и репрезентативности.

**Ключевые слова:** урбанизация городов, интенсивность движения, нерегулярное движение, точки притяжения городского населения, социологическое исследование.

### Введение

На протяжении последних десятилетий парадигма мышления городского жителя претерпела кардинальные изменения [1]. Господствовавший тренд на моноцентричное развитие урбанизированных территорий, предусматривающий сосредоточение в центре мест приложения труда и точек притяжения населения, активно вытесняется полицентричной моделью, что продиктовано изменением стиля жизни современного человека, ростом качества жизни, а также масштабом происходящей трансформации городской среды [2].

Наблюдающийся рост и территориальное перераспределение численности жителей в крупных и крупнейших городах Российской Федерации кардинально сказались на изменении плотности населения.

Отражение указанных процессов урбанизации на 2013 и 2023 год представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Показатели урбанизации крупнейших городов Российской Федерации  
(фрагмент)

№	Город	Численность населения, тыс. чел.		Процент прироста численности населения *	Площадь км <sup>2</sup>		Процент прироста площади	Плотность населения, тыс. чел./км <sup>2</sup>		Процент прироста плотности населения
		2013	2023		2013	2023		2013	2023	
1	Москва	11979,5	12636,3	5,48	2510	2561,5	2,05	4,77	4,93	3,35
2	Санкт-Петербург	5028,0	5600,0	11,38	1399	1429	2,14	3,59	3,92	9,19
3	Новосибирск	1523,8	2794,3	83,38	502,1	502,7	0,12	3,03	5,56	83,50
4	Екатеринбург	1396,1	1539,4	10,26	1142,9	1147	0,36	1,22	1,34	9,84
5	Казань	1176,2	1314,7	11,78	425,3	515,8	21,28	2,77	2,55	-7,94
6	Нижний Новгород	1259,9	1237,1	-1,81	411	411	0,00	3,07	3,01	-1,95
7	Красноярск	1016,4	1197,7	17,84	348	379,5	9,05	2,92	3,16	8,22
8	Челябинск	1170	1175,4	0,46	530	530	0,00	2,21	2,22	0,45
9	Самара	1172,4	1163,6	-0,75	541	541	0,00	2,17	2,15	-0,92
10	Уфа	1087,2	1158	6,51	707,9	708	0,01	1,54	1,64	6,49
11	Ростов-на-Дону	1103,7	1136	2,93	348,5	348,5	0,00	3,17	3,26	2,84
12	Краснодар	784,1	1121	42,97	339,3	344,7	1,59	2,31	3,25	40,69
13	Омск	1160,7	1111	-4,28	572,9	577,9	0,87	2,03	1,92	-5,42
14	Воронеж	1003,6	1052	4,82	590	596,5	1,10	1,70	1,76	3,53
15	Пермь	1013,9	1027	1,29	800,5	800,5	0,00	1,27	1,28	0,79
16	Волгоград	1018,8	1026	0,71	856,2	859,4	0,37	1,19	1,19	0,01

\* примечание: красным цветом отображен отрицательный прирост, зеленым – положительный.

Статистика показывает, что за последние 10 лет в городах с положительной динамикой изменения численности населения наблюдается и устойчивый рост его плотности (в среднем на 6,3 %).

Расположение объектов административно-делового назначения в историческом центре обусловлено традиционными подходами в градостроительстве, не зависящими от изменений плотности населения. Данные объекты являются сосредоточением деловой жизни урбанизированной территории, из-за чего, у жителей, проживающих в центральной части города, возникает ряд проблем, связанных с нехваткой парковочного пространства, высоким уровнем шума и эмиссий отработанных газов автомобилей и т.д. Все это приводит к смещению пула запросов

современного городского жителя на проживание в селитебных зонах в периферийных районах с развитой инфраструктурой.

В основу проектирования микрорайонов положена концепция рационального планирования [3], базирующаяся на оптимальном распределении объектов притяжения по территории городского района (административная структура, торговые зоны, образовательные учреждения, больницы и т.д.). Нормальное функционирование территорий с жилым профилем возможно при разумном балансе площадей и транспортной инфраструктуры, которая обеспечивает подвижность городского населения, при нарушении которого у жителей микрорайона возникает не удовлетворенность индексом качества городской среды.

Создание комфортной городской среды за счет рационального планирования транспортных систем невозможно без сведений об объемах движения транспортного потока [4,5], необходимых, помимо этого, на всех этапах инженерной деятельности по модернизации и реконструкции улично-дорожной сети.

По мере развития информационных технологий подходы к получению информации о первичных параметрах транспортного потока сместились от наземного способа исследования: ручной учет (с 1938 г.), индуктивные датчики (с 1988 г.); к дистанционному - летательные аппараты (с 2000 г.), видеомониторинг (с 2006 г.), спутниковый мониторинг (с 2007 г.). Сбор сведений дистанционными способами, в особенности, спутниковым зондированием, позволяет существенно снизить ресурсные затраты и обеспечить больший охват площади исследуемой улично-дорожной сети. В основу данного метода положено получение пространственных данных (съемка) и их преобразование в количественные характеристики транспортных потоков (дешифровка) [6,7].

---

Большинство из существующих способов дешифровки были разработаны для объектов, по которым осуществляется постоянная транспортная связь и составляющих скелетный каркас улично-дорожной сети города: магистральные улицы общегородского непрерывного и регулируемого движения и районного значения [8]. Тем не менее, большинство улиц в зонах жилой застройки имеют нерегулярную транспортную загрузку со спорадическим спросом: улицы и дороги местного значения в зонах жилой застройки, в производственных, общественно деловых и торговых зонах. При попытке применения существующих дешифровочных аппаратов в отношении таких категорий улиц, отклонения расчетных значений интенсивностей от фактических величин составили 37-80 %, в связи с чем, возникла необходимость разработки научно-обоснованной методики распознавания объемов трафика на улицах с нерегулярным движением.

### **Методы**

Оценка применимости существующих методов прогнозирования интенсивности движения показала наибольшую релевантность для дальнейшего исследования метода моделирования, который в отличие от альтернативных путей (экстраполяция, экспертные оценки) отображает природу генерации транспортного спроса с установлением вклада в изменение объемов движения каждой точки притяжения городского населения. Последовательность настоящего исследования с использованием метода моделирования включала разработку зависимости, экспериментальный анализ, сопоставление результатов предварительных прогнозных расчетов с фактическими данными состояния процесса и калибровку разработанной модели.

На основании предварительного исследования была высказана рабочая гипотеза взаимосвязи интенсивности движения с количественными

характеристиками мест притяжения городского населения. Анализ значимости факторов позволил определить первостепенное влияние точек притяжения населения таких как образовательные учреждения школьного и дошкольного образования, для которых ранее была разработана корреляционная функциональная зависимость [9]. Калибровка зависимости невозможна без понимания потребности населения: в учебе, работе и т.д., идентификация которых возможна в рамках проведения эксперимента методом социологического опроса [10], а количественное распределение особенностей суточного цикла активности городских жителей - при статистической обработке его результатов.

В связи с этим целью данного исследования явилась калибровка ранее разработанной корреляционной зависимости интенсивности движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом от характеристик точек притяжения городской среды на основе социологического опроса.

Структура данного исследования включает в себя:

1. Изучение корреляции типовых проектов зданий с мощностью (вместимостью) образовательных учреждений;
  2. Проведение социологического исследования для установления взаимосвязи режимных характеристик образовательных учреждений с количеством транспортных средств, проходящих по улице локации точки притяжения и обеспечивающих доставку посетителей к ней;
  3. Калибровка математической зависимости на основе уточняющих коэффициентов приведения, полученных по данным социологического опроса;
  4. Проверка достоверности результатов исследования путем расчета отклонений расчетных значений по уточненной и ранее разработанной зависимостям от фактических величин интенсивности движения.
-

### Основная часть работы

Согласно ранее проведенным исследованиям [9], интенсивность движения на улицах размещения образовательных учреждений, детерминирована их мощностью.

В основу архитектурного планирования населенных пунктов Российской Федерации было заложено повсеместное применение типовых проектных решений: конструкций, планировок, мощности. Исходя из этого, появляется возможность распознавания рабочих характеристик в виде мощности этих объектов при помощи дистанционного зондирования, в связи с чем были проанализированы наиболее распространенные типы планировок образовательных учреждений (Таблица № 2).

Таблица № 2

Мощность образовательных учреждений от типа планировки (фрагмент)

№ п/п	Спутниковый снимок	Шифр ТП*	В*, чел.	%	№ п/п	Спутниковый снимок	Шифр ТП*	В*, чел.	%
Дошкольные учреждения					Школьные учреждения				
1		211-2-103, 213-1-301.85	100	12,9	1		2С-02-9 (2С-02-10)	500	25,4
2		214-2-22	100*2	13,2	2		224-1-493.86	1000	18,4
3		213-1-352с.86	500	9,2	3		224-1-142 224-1-358	1500	23,8
4		214-2-57	500	3,7	4		221-1-384	2000	12,7

№ п/п	Спутниковый снимок	Шифр ТП*	В*, чел.	%	№ п/п	Спутниковый снимок	Шифр ТП*	В* чел.	%
5		211-2-104, 212-1-212с и другие	2*180, 280 и другая	22,2	5		2-02-328, 222-1-118 и другие	3000 и другая	18,7

В\* - мощность образовательных учреждений; ТП\* – типовой проект

В качестве основы для установления корреляции количества мест притяжения, их мощности и процентного соотношения транзита соответствующего возрастного контингента законными представителями на личном автотранспортном средстве был использован метод социологического исследования.

Использование опросных методик позволит изучить возрастной контингент, функциональную занятость населения (очная или дистанционная работа) и другие показатели оказывающие существенное влияние на неравномерность интенсивности движения.

В связи с лимитом контактного общения во время опроса из существующих методик социологических исследований был выбран анкетный опрос по методу адресов. С учетом жизненного цикла населения и режима работы образовательных учреждений опрос проводился в часы доставки обучающегося контингента в образовательные учреждения и их отбытия.

Для получения репрезентативных данных была рассчитана выборка опроса. Расчет выполнялся на примере микрорайонов города Тюмень (в трактовке авторов – анклав концентрации жилой застройки). Фрагмент деления на районы представлен на рис. 1.

Из-за малой вместимости и численности воспитанников частные детские сады, расположенные в представленных выше районах, не рассматривались.



Рис. 1. – Распределение районов в городе Тюмень (фрагмент)

Минимальная численность респондентов, которых необходимо опросить для получения достоверных результатов, рассчитывалась по формуле (1).

$$A = \frac{D^2 * p * (1 - p)}{I^2}, \quad (1)$$

где  $A$  – размер выборки;  $D$  – коэффициент, зависящий от доверительного уровня ( $\lambda$ ):  $D = 1,96$  при  $\lambda = 0,95$ ;  $p$  – доля интересующих респондентов или ответов;  $I$  – доля погрешности измерений в виде доверительного интервала точности.

По результатам расчета было установлено, что для достижения 95 % - ной точности результатов, минимальная выборка опрашиваемых должна составлять 384 респондентов (посетителей), приходящихся на 1000 человек (жителей) транспортного района.

Результаты расчета минимального количества опрошенных респондентов по районам, представленных на рисунке 1, отображены в таблице № 3.

Таблица № 3

## Расчет минимального количества опрошенных (фрагмент)

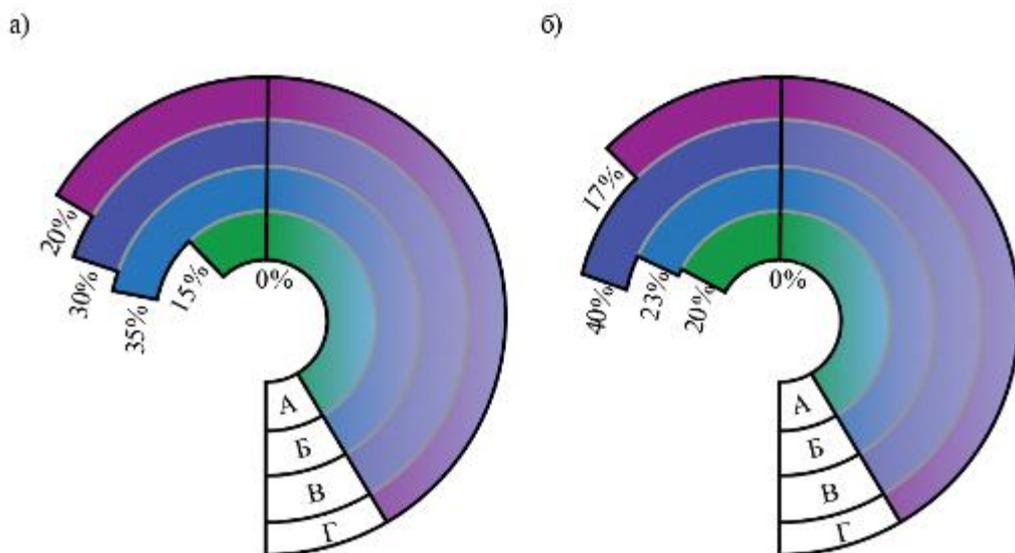
№ транспортного района	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Численность жителей, чел.	201	800	530	700	400	150	1025	970	680	130
Площадь, км <sup>2</sup>	2,29	1,10	0,78	0,78	0,83	0,39	0,74	0,57	0,38	0,49
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	88	729	681	894	481	389	1377	1715	1769	267
Количество опрошенных, чел.	77	307	204	269	154	58	394	372	261	50

Социологический опрос выполнялся с марта по октябрь 2023 года. Общее количество респондентов составило 2145 человек, временные интервалы опроса находилось в пределах утренних часов с 7<sup>30</sup> до 9<sup>00</sup>, в вечернее время - с 16<sup>30</sup> до 19<sup>00</sup>. Опрос проводился в сухую погоду, процентное соотношение опрошенных мужчин и женщин составило 26 : 74 соответственно.

### Результаты и обсуждение

Респондентам задавались следующие вопросы, позволяющие детализировать ранее разработанную функциональную зависимость: возраст законных представителей, привозящих соответствующий возрастной контингент; возраст обучающихся и дальность проживания от места обучения; преимущественный способ доставки ребенка в учреждение; вид посещаемого учреждения общающимся; количество детей, перемещаемых в одном транспортном средстве; добираются ли дети самостоятельно; время перевозки, и др.

Фрагмент распределения результатов социологического опроса показан на рис. 2-4.



А - молодой возраст (18 - 24 года); Б - ранний взрослый возраст (25 - 35 лет);  
В - средний взрослый возраст (36 - 45 лет); Г - поздний взрослый возраст (46 - 60 лет)

Рис. 2. – Распределение респондентов по возрастным группам:

а) улицы в зонах жилой застройки; б) улицы в общественно-деловых и торговых зонах

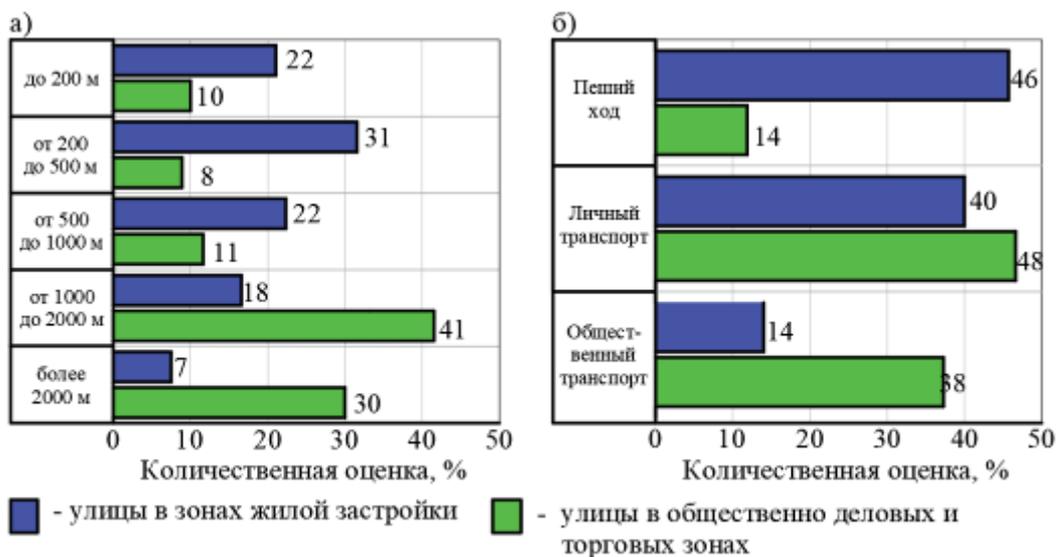


Рис. 3. – Диаграммы распределения дальности проживания и способа доставки к местам обучения:

а) дальность проживания от места притяжения; б) способ доставки учеников до места обучения

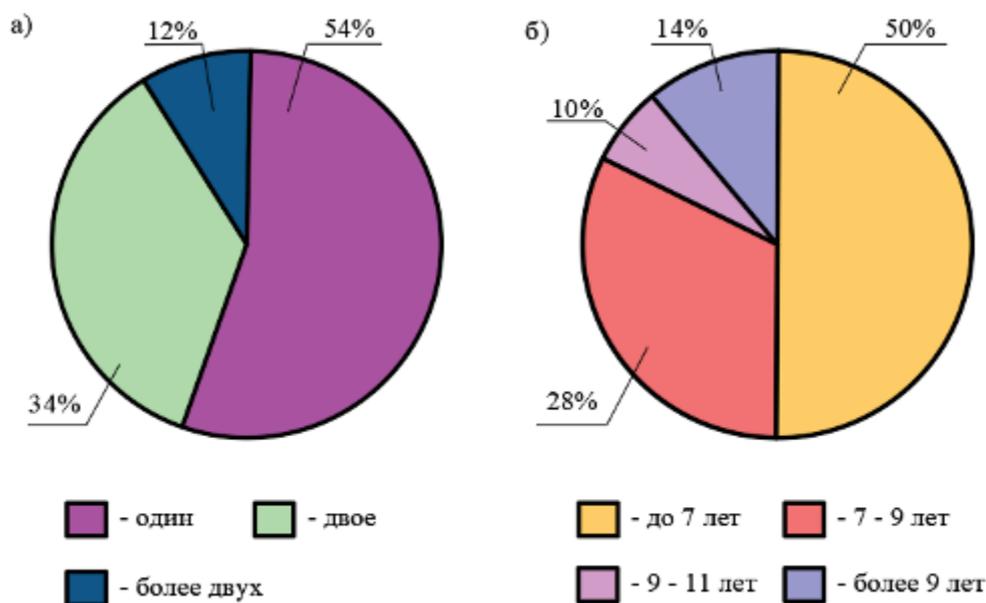


Рис. 4. – Диаграммы распределения числа обучающихся в одном транспортном средстве:

- а) количество обучающихся, приходящихся на одно транспортное средство;
- б) возраст обучающихся

Полученные результаты социологического опроса были внедрены в ранее разработанную [8] функциональную зависимость дешифровки интенсивности посредством разработки уточняющих коэффициентов, представленных в таблице № 4.

Таблица № 4

Коэффициент учитывающий возрастной контингент и среднюю дальность проживания от места притяжения

Средняя дальность проживания от места притяжения, м	Средний возраст проживающих в районе, лет			
	18-24	25-35	36-45	46-60
До 200	0,90	0,91	0,99	1,01
200-500	0,86	0,80	0,95	0,96
500-1000	0,80	0,72	0,90	0,92
1000-1500	0,74	0,66	0,88	0,90
1500-2000	0,73	0,66	0,79	0,87

При калибровке уравнения значимыми параметрами явилась плотность населения и мощность образовательных учреждений, что позволило при

помощи математического моделирования представить результаты исследования в виде формулы (2). В уравнение были добавлены выше представленные коэффициенты, в связи с чем, конечный результат зависимости приобрёл вид:

$$N_{\text{сyt}} = \frac{-0,000123 * (p_{\text{ж}} * J_n * O_n)^2 + 0,7162 * (p_{\text{ж}} * J_n * O_n)}{j_n * o_n * d}, \quad (2)$$

где  $p_{\text{ж}}$  – плотность населения, чел/км<sup>2</sup>;  $J_n, j_n$  – коэффициенты, учитывающие количество и вместимость школьных учреждений (таблица № 5);  $O_n, o_n$  – коэффициенты, учитывающие количество и вместимость детских садов (таблица № 6);  $d$  – коэффициент, учитывающий возрастной контингент и среднюю дальность проживания от места притяжения (таблица № 4).

Таблица № 5

Коэффициенты приведения для школьных образовательных учреждений

Коэффициент $J_n, j_n$ учитывающий вместимость, чел			
200 – 1000	1000 - 2000	2000 – 3000	3000 – 4000
$\frac{J_1 = 1,288761}{j_1 = 0,996631}$	$\frac{J_2 = 1,0763989}{j_2 = 0,69518}$	$\frac{J_3 = 1,035076}{j_3 = 0,642812}$	$\frac{J_4 = 0,909379}{j_4 = 0,496183}$

Таблица № 6

Коэффициенты приведения для дошкольных образовательных учреждений

Коэффициент $O_n, o_n$ учитывающий вместимость, чел				
20-100	100-200	200-300 чел.	300-400	400-500
$O_1 = 1,709548$	$O_2 = 1,595891$	$O_3 = 2,18232$	$O_4 = 2,208693$	$O_5 = 2,011363$
$o_1 = 1,16908$	$o_2 = 1,018741$	$o_3 = 0,953029$	$o_4 = 0,836289$	$o_5 = 0,693533$

Если объект, находящийся на улице, не является единичным, необходимо воспользоваться таблицей № 7 для корректировки количества точек притяжения. Если в радиусе 500 метров нет размещенных объектов указанных назначений и описанных выше, вместо коэффициента подставляется единица.

При введении данных коэффициентов в формулу становится возможным определение интенсивности движения на улицах, где спрос является нерегулярным.

Таблица № 7

Коэффициенты для учета количества зданий

Количество зданий	Школьные учреждения	Детские сады
3	$J_m * \left(\frac{e}{2,61}\right)^2$	$o_m * \left(\frac{e}{2,71}\right)^3$
2	$J_m * \frac{e}{2,87}$	$o_m * \left(\frac{e}{2,71}\right)^3$
1	$J_n$	$o_n$

### Выводы

Достоверность результатов, получаемых до и после калибровки функциональной зависимости, проверялась путем сравнения расчетных значений с данными натурных измерений. Результаты проверки отображены на рисунке 5.

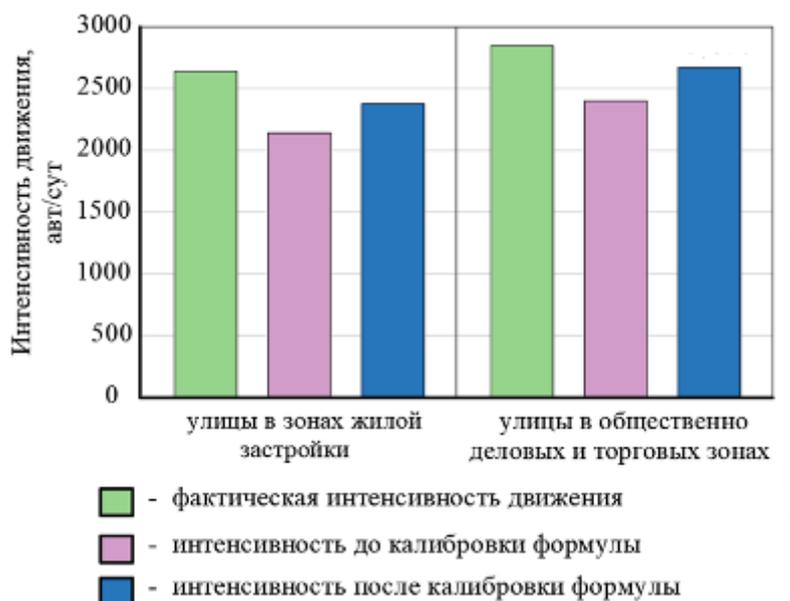


Рис. 5. – Результаты проверки откалиброванной формулы на адекватность:

- а) улицы в зонах жилой застройки; б) улицы в общественно-деловых и торговых зонах

На основании полученных данных можно сделать вывод, что использование откалиброванной формулы позволило повысить достоверность результатов в среднем с 85 % до 92 %, снизить отклонения от фактических значений в среднем на 7 %.

В развитие метода планируется исследование частоты распределения точек притяжения населения, расположенных на улицах с нерегулярным движением; разработка функциональных зависимостей, учитывающих закономерности формирования трафика несколькими объектами генерации спроса и создание на их основе программного продукта.

### Литература

1. Шеина С.Г., Олейник Е.А. Изменения урбанистической парадигмы начала XXI века в России // Инженерный вестник Дона. 2022. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8059](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8059)

2. Zhuykov, S.V. Methods of Architectural Planning for the Development of Urban Areas // Components of Scientific and Technological Progress. 2021. № 5 (59). pp. 20-23.

3. Шестеров, Е.А. Создание координированной транспортной системы при территориально-транспортном планировании развития городских территорий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 3. С. 30-38.

4. Testeshev A.A., Timohovez V.D., Mikeladze T.G. Development of harmonized multifactor mono-dependency to decipher satellite-based monitoring of traffic streams // Transportation Research Procedia – St. Petersburg. 2019. pp. 1-7.

5. Ерещенко Т.В., Рашевский Н.М., Хорошун Д.А., Курамшин Р.Ф., Ряпалов Д.Н. Анализ и моделирование транспортных потоков на перекрестке для управления качеством городской среды // Инженерный вестник Дона. 2022. №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7847](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7847)



6. Тимоховец, В.Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов: дис. канд. техн. наук: 05.23.11. Омск, 2020. 133 с.

7. Кудашев, Е.Б. Мясников В.П., Сюнтюренко О.В. Конвергенция новейших информационных технологий и методов дистанционного зондирования Земли для построения аэрокосмического экологического мониторинга мегаполисов // Вестник РФФИ. 2001. № 2 (июнь). С. 47–54.

8. Бабич, Т.Г., Тестешев, А.А. Обоснование параметрических характеристик формализованной модели транспортного спроса на улицах с нерегулярным движением // Вестник гражданских инженеров. 2022. С. 99-108.

9. Тестешев, А.А., Микеладзе Т.Г. Исследование транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением методом дистанционного спутникового мониторинга // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. С. 51-57.

10. Опросные методы сбора эмпирической информации // Studfile URL: [studfile.net/preview/7132208/page:6/](https://studfile.net/preview/7132208/page:6/) (дата обращения: 23.10.2023).

### References

1. Sheina S.G., Olejnik E.A. Inzhenernyj vestnik dona. 2022. №12 (96). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8059](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8059)

2. Zhuykov, S.V. Components of Scientific and Technological Progress. 2021. № 5 (59). pp. 20-23.

3. Shesterov, E.A. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2023. № 3. pp. 30-38.

4. Testeshev A.A., Timohovez V.D., Mikeladze T.G. Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2019. pp. 1-7.



5. Ereshhenko T.V., Rashevskij N.M., Horoshun D.A., Kuramshin R.F., Rjapalov D.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7847](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7847)

6. Timohovec, V.D. Sovershenstvovanie metodov distancionnogo monitoringa transportnyh potokov dlja proektirovanija ulichno-dorozhnoj seti krupnyh gorodov [Improvement of methods of remote monitoring of traffic flows for design of street-road network of large cities]: dis. kand. tehn. nauk: 05.23.11. Omsk, 2020. 133 p.

7. Kudashev, E.B. Mjasnikov V.P., Sjuntjurenko O.V. Konvergencija Vestnik RFFI. 2001. № 2 (ijun'). pp. 47–54.

8. Babich, T.G., Testeshev, A.A Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2022. pp. 99-108.

9. Testeshev, A.A., Mikeladze T.G. Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija. 2019. pp. 51-57.

10. Oprosnye metody sbora jempiricheskoj informacii [Survey methods for collecting empirical information], URL: [studfile.net/preview/7132208/page:6/](http://studfile.net/preview/7132208/page:6/) (accessed 23.10.2023).

**Дата поступления: 12.10.2024**

**Дата публикации: 30.11.2024**