

Применение кластерного анализа для определения характера использования участка улицы

Лариса Александровна Банникова, Виола Анатольевна Ларионова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ);
г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Организация комфортной среды в российских городах ставит задачу реконструкции улично-дорожной сети и трансформации уличного пространства из зоны транзитного движения в общественное пространство. Подобный переход невозможен без учета потребностей всех пользователей уличного пространства и создания для них соответствующей инфраструктуры. Современная нормативная база не учитывает неоднородность характера использования улиц одной градостроительной категории, что влечет за собой отсутствие объективных параметров для создания этой инфраструктуры на разных участках улицы.

Материалы и методы. Использовались данные из открытых источников, статистические и графические сведения муниципальных учреждений, натурных обследований. С целью установления значений параметров, определяющих характер использования участка улиц, применен кластерный анализ отдельно по каждому пользователю: пешеходы, средства индивидуальной мобильности и общественный транспорт.

Результаты. Кластерный анализ позволил выявить совокупность факторов, определяющих характер использования участка улицы пешеходами, средствами индивидуальной мобильности и общественным транспортом. Учет характера дает возможность установить объем мероприятий по созданию инфраструктуры на каждом конкретном участке улицы.

Выводы. Предложенная методика установления важности пользователя на участке улицы позволяет объективно оценить необходимость размещения тех или иных элементов в поперечном профиле улиц при реконструкции. Анализ градостроительных условий, в которых располагаются участки улиц, такие как положение в плане города, наличие и характеристики прилегающей застройки, которая формирует поток транспорта, пешеходов и средств индивидуальной мобильности и определяет наличие центров тяготения или исключительно транзитной функции участка, позволит сформулировать набор рекомендаций по проектированию в условиях нового строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: классификация городских улиц, проектирование уличного пространства, пользователи уличного пространства, комфортная городская среда, кластерный анализ

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Банникова Л.А., Ларионова В.А. Применение кластерного анализа для определения характера использования участка улицы // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 1. С. 20–36. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.20-36

Автор, ответственный за переписку: Лариса Александровна Банникова, l.a.bannikova@urfu.ru.

Application of cluster analysis to determine the pattern of use of a street section

Larisa A. Bannikova, Viola A. Larionova

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU);
Ekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Creation of a comfortable environment in Russian cities sets a task to reconstruct the street and road network and transform the street space from a transit zone into a public space. Such transition is impossible without taking into account the needs of all street space users and creating the appropriate infrastructure for them. The current regulatory framework does not take into account the heterogeneous nature of street use within one urban development category, which leads to absence of objective parameters for creation of such infrastructure on different sections of the street.

Materials and methods. The authors used data from open sources, statistical and graphic data from municipal institutions, and data from field surveys. In order to determine the values of the parameters that determine the pattern of use of a street section, cluster analysis was applied separately for each user: pedestrians, individual mobility vehicles, and public transport.

Results. Cluster analysis allowed to determine the set of factors that determine the pattern of use of a street section by pedestrians, individual mobility vehicles and public transport. Considering the pattern of use allowed to identify the scope of measures required for creation of infrastructure on each specific street section.

Conclusions. The proposed methodology for determining the importance of a user on a street section allows to objectively assess the need to place certain elements in the cross-section of streets during reconstruction. The analysis of the urban

planning conditions in which street sections are located, such as the position in the city plan, the presence and characteristics of the adjacent development, which forms the flow of traffic, pedestrians and means of individual mobility and determines the presence of centres of gravity or exclusively transit function of the section, will allow to formulate a set of design recommendations in the conditions of new construction.

KEYWORDS: classification of city streets, street space design, street space users, comfortable urban environment, cluster analysis

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the editors and reviewers.

FOR CITATION: Bannikova L.A., Larionova V.A. Application of cluster analysis to determine the pattern of use of a street section. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(1):20-36. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.20-36 (rus.).

Corresponding author: Larisa A. Bannikova, l.a.bannikova@urfu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Задача преобразования улично-дорожной сети (УДС) с целью создания комфортной городской среды стоит перед городами России и мира. В условиях растущего уровня автомобилизации увеличиваются транспортные заторы, а также социальные и экологические проблемы пользования автомобилем, усиливается интерес к общественному транспорту и безмоторным видам транспорта. Уличное пространство рассматривается не только как коридор для перемещения всех групп пользователей, но и как общественное место [1, 2].

На рубеже XX в. в иностранной литературе появился термин «полноценные» улицы (complete streets) [3, 4], который в дальнейшем трансформировался в «жизнеспособные», «живые» улицы (vital streets) [5]. Основным принципом проектирования УДС сейчас является ориентация на человека, в частности, создание эффективной, безопасной, поддерживающей здоровье и экологически чистой зеленой транспортной системы, среды для медленных приятных путешествий. Исследователи изучают влияние городского дизайна, в том числе дизайна улиц, на благополучие населения и качество жизни [6], транспортное поведение населения [4, 7], процесс изоляции индивидуума от социума [8].

В настоящее время в мире существует большое количество руководств, гайдов и методических материалов по проектированию улиц с учетом их общественной функции и интересов всех пользователей пространства [9]. Основой подхода к проектированию служит четкая иерархия УДС, базирующаяся на предоставлении приоритета тому или иному пользователю в соответствии с политикой, сформулированной на уровне муниципалитета, что требует расширения существующей классификации улиц и дорог [10–12]. Отдельные исследования посвящены созданию условий для пешеходов [13, 14], велосипедистов и средств индивидуальной мобильности [15, 16], движению общественного транспорта [17–19], озеленению улиц и организации поверхностного водоотвода [20–22], объектному наполнению и рекомендациям по организации пространства улицы, незанятого зоной транзитного движения транспорта [23]. Объединение всех этих элементов в поперечный профиль, ограниченный

имеющейся застройкой или требованиями эффективного использования городского пространства, представляет сложную многоаспектную задачу.

В 2022 г. было опубликовано исследование на тему перераспределения пространства улиц между пользователями с целью осуществления перехода от политики, ориентированной на личный автомобиль, к модели устойчивого развития [24]. В работе рассмотрена матрица из 26 сценариев использования пространства улицы, основанных на потребностях пользователей и их видах активности, и 28 целей, связанных с экономическими, социальными эффектами и воздействием на окружающую среду. 26 сценариев оценивались по «важности» в пределах участка улиц по следующим значениям: 0 — условия для пользователя могут быть ухудшены или инфраструктура может быть убрана при необходимости; 1 — условия не должны быть хуже существующих и 2 — условия должны быть лучше, чем существующие. Описание предполагаемого эффекта от реализации мероприятий по перераспределению пространства улицы при этом носит ценностный характер и содержит качественные оценки: «скорее негативно», «нейтрально или неопределенно», «скорее позитивно». Необходимость создания системы объективной оценки характера использования участка улиц различными пользователями и определения объема мероприятий по созданию для них инфраструктуры остается актуальной задачей.

Основные пользователи улиц — пешеходы, велосипедисты и средства индивидуальной мобильности, общественный транспорт и индивидуальный транспорт. Современная нормативная база содержит требования по размещению и методике расчета ширины проезжей части. Принятие решения о необходимости и объеме мероприятий по созданию инфраструктуры для других пользователей на конкретном участке улицы должно основываться на анализе характера использования участка с учетом индекса важности пользователя [25]. Индекс важности в общем виде представляет собой интегральную характеристику использования участка улицы конкретным пользователем, а именно:

0 — пользователь отсутствует или представлен в небольшом объеме;

Табл. 1. Объем мероприятий с учетом присвоенного индекса важности для каждого пользователя
Table 1. Volume of activities taking into account the assigned Index of Importance for each user

Пользователь/значение параметров User/parameter value	Индекс важности для Index of Importance for		
	0	0,5	1
Пешеходы Pedestrians	Тротуар минимальной ширины*; организация мест отдыха Sidewalk of minimum width*; organization of rest areas	Тротуар рекомендуемой ширины с учетом интенсивности движения пешеходов; создание полосы озеленения вдоль тротуара; организация мест отдыха Sidewalk of recommended width taking into account the intensity of pedestrian traffic; creation of a green strip along the sidewalk; organization of rest areas	Тротуар рекомендуемой ширины с учетом интенсивности движения пешеходов; создание полосы озеленения вдоль тротуара; создание рекреационных островков и зон отдыха Sidewalk of recommended width taking into account the intensity of pedestrian traffic; creation of a green strip along the sidewalk; creation of recreational islands and rest areas
Средства индивидуальной мобильности Individual mobility vehicles	Организация движения средств индивидуальной мобильности по проезжей части или тротуару без организации велополосы или велодорожки Organization of movement of individual mobility vehicles on the roadway or sidewalk without organizing a bicycle lane or bicycle path	Организация велополосы на тротуаре или на проезжей части, или велодорожки нормативной ширины, обособленной от других пользователей полосой озеленения Organization of a bicycle lane on the sidewalk or on the roadway or on the roadway or a bicycle path of standard width, separated from other users by a strip of greenery	Организация велодорожки рекомендуемой ширины, обособленной от других пользователей полосой озеленения Organization of a bicycle path of the recommended width, separated from other users by a strip of greenery
Общественный транспорт Public transport	Организация движения общественного транспорта в общем потоке Organization of public transport movement in general flow	Организация движения общественного транспорта на выделенной полосе Organization of public transport movement on a dedicated lane	Организация движения общественного транспорта на выделенной или обособленной полосе; организация интеллектуальной системы управления дорожным движением с учетом предоставления приоритета общественному транспорту Organization of public transport traffic on a dedicated or separate lane; organization of an intelligent traffic management system considering priority to public transport

Примечание: * — минимальное значение ширины элемента принимается в соответствии с СП 42.13330.2016 с учетом градостроительной категории.
Note: * — minimum value of the element width is taken in accordance with CP 42.13330.2016, taking into account the urban planning category.

0,5 — использование пространства улицы пользователем не ярко выражено;
1 — присутствие пользователя ярко выражено.
Объем мероприятий с учетом присвоенного индекса важности для каждого пользователя приведен в табл. 1.
Для определения значений параметров, влияющих на присвоение индекса важности пользователей, были проанализированы участки улиц крупнейшего города на примере Екатеринбурга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
Для определения значений параметров, влияющих на присвоение индекса важности пользователей, рассмотрены участки улиц общегородского значения 2-го и 3-го класса, магистральные улицы районного значения и улицы местного значения в Екатеринбурге. Для анализа участков улиц выбраны планировочные районы существующей застройки (рис. 1).
Всего в границах обследуемой территории располагается 1426 участков улиц выбранных категорий.

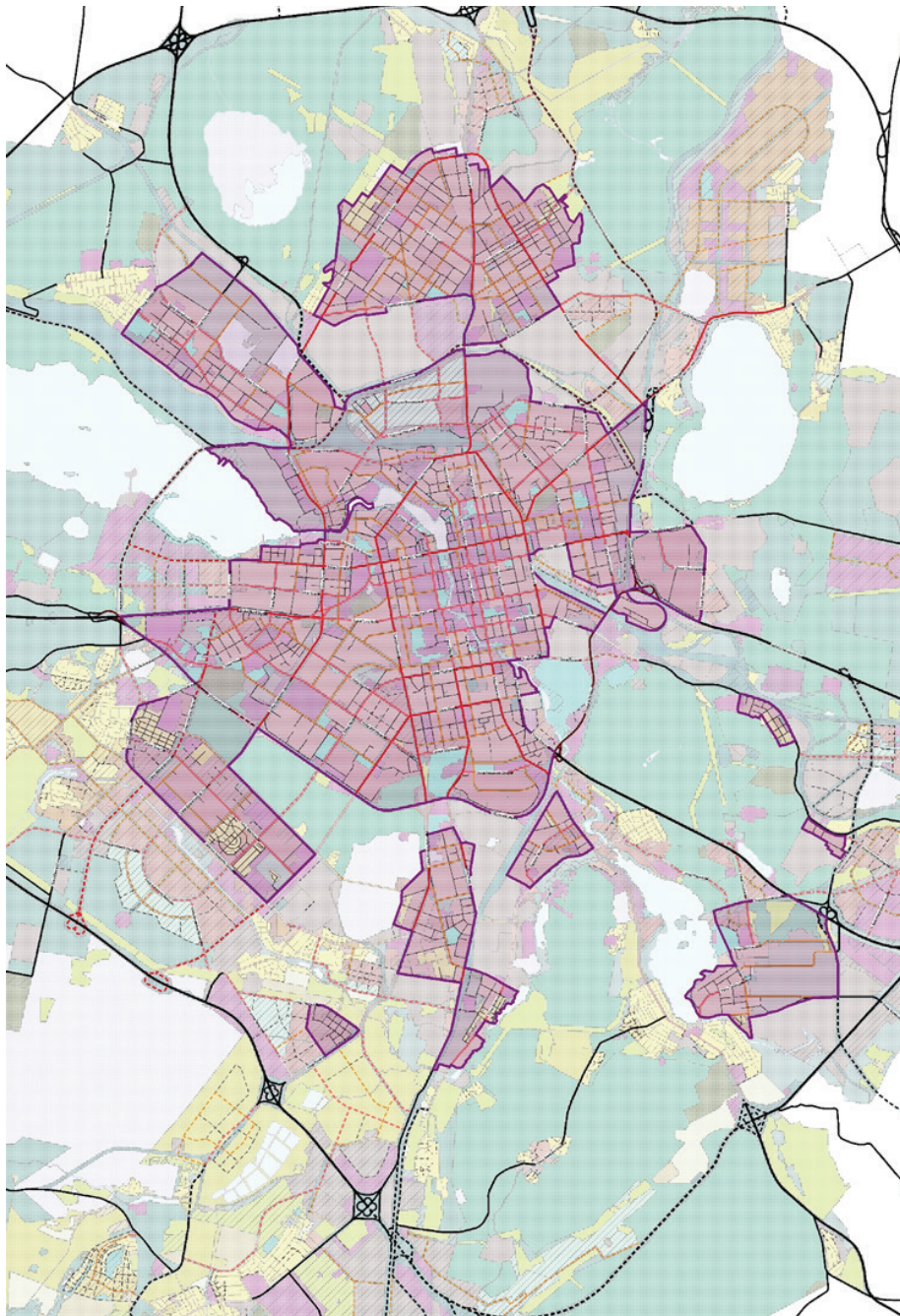


Рис. 1. Территория города, выбранная для проведения обследования и классификация улично-дорожной сети

Fig. 1. The city territory selected for the survey and the classification of the street and road network

Для определения величины необходимого объема репрезентативной выборки исследуемых участков улиц каждой градостроительной категории было принято: метод выборки — бесповторный, вид выборки — простая случайная, по степени охвата — большая выборка. Расчет общего количества участков улиц каждой категории в пределах территории, выбранной для анализа, производился по материалам, предоставленным МБУ «Мастерская генерального плана» Екатеринбурга с помощью инструментальной геоинформационной системы «ИнГео». Минимально необходимый объем выборки исследуемых участков улиц

по каждой градостроительной категории в пределах территории, выбранной для анализа, вычислялся по формуле:

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot \delta^2}{N \cdot \Delta_x^2 + t^2 \cdot \delta^2},$$

где N — объем генеральной совокупности; t — коэффициент доверия, $t = 1,96$ для доверительной вероятности, равной 0,95; δ^2 — дисперсия доли единиц, обладающих каким-либо значением признака, принятая равной 0,25; Δ_x — предельная ошибка репрезентативной выборки, принята равной 5 %.

Табл. 2. Значения параметров, используемых в качестве входных параметров для кластеризации участков улиц
Table 2. Values of parameters used as input parameters for street segment clustering

Диапазон значений параметра, единицы измерения Parameter value range, units of measurement	Категория участка улицы Street section category			
	Магистральная улица общегородского значения 2-го класса Main street of citywide importance, 2nd class	Магистральная улица общегородского значения 3-го класса Main street of citywide importance, 3rd class	Магистральная улица районного значения Main street of regional significance	Улица местного значения Local street
Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m	34,0–140,0	23,0–90,0	15,0–155,0	11,4–60,0
Ширина тротуара, м Sidewalk width, m	1,6–13,5	1,3–12,3	1,0–8,0	0,4–9,8
Плотность объектов торговли и услуг, ед./100 м Density of retail and service facilities, units per 100 m	0–9,68	0–10,33	0–5,88	0–5,92
Интенсивность движения пешеходов, пеш./ч Pedestrian traffic intensity, persons per hour	2–1809	101–1694	110–1285	11–1159
Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности, ед./ч Intensity of individual mobility vehicles, units per hour	39–250	50–241	44–234	13–166
Частота движения общественного транспорта, ед./ч Public transport frequency, units per hour	6–165	1–163	1–81	4–61
Количество видов общественного транспорта Number of public transport types	1–4	1–4	1–3	1–3

Минимально необходимый объем выборки исследуемых участков улиц по всем категориям составил 671 участок.

Для анализа выбраны все участки улиц в центральном планировочном районе. По остальным районам участки для исследования распределялись равномерно.

С целью разделения участков улиц на кластеры использовался метод кластеризации k -средних (k -means) с применением программного комплекса Loginom¹. Количество кластеров в приведенном исследовании было задано изначально и равнялось трем исходя из ранее принятой градации значений индекса важности пользователей для участков улиц, что и определило выбор метода кластеризации наряду с простотой и высокой скоростью расчетов. Алгоритм кластеризации позволяет выделить группы (кластеры) объектов со схожими характеристиками на основе минимизации суммарного квадратичного отклонения их от центров кластеров. Процесс разбиения на кластеры начинается со случайного отне-

сения объекта к одному из кластеров и вычисления координат его центра. Далее каждое следующее наблюдение определяется в ближайший кластер исходя из условия, что евклидово расстояние до центра данного кластера меньше, чем до центров других кластеров. При этом пересчитывается положение центра кластера с учетом присоединенного объекта. Алгоритм продолжается до тех пор, пока все точки не отнесены к определенному кластеру и не выполнено условие минимальной внутрикластерной дисперсии.

В качестве входных параметров для кластеризации участков улицы с целью определения индекса важности пешеходов использовались такие переменные, как ширина участка улицы в красных линиях, плотность объектов торговли и услуг² и интенсивность пешеходного движения в час пик.

Для установления индекса важности для средств индивидуальной мобильности использовались такие входные параметры кластеризации, как ширина

¹ Loginom — аналитическая low-code платформа для анализа данных. URL: <https://loginom.ru/platform>

² Методика формирования индекса качества городской среды : утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23.03.2019 № 510-р.

участка улицы в красных линиях, ширина тротуара и интенсивность пешеходного движения в час пик. В связи с неоднородностью прилегающей застройки данные по интенсивности движения пешеходов и средств индивидуальной мобильности, а также по ширине тротуара были заданы отдельно по четной и нечетной стороне улицы.

С целью кластеризации участков улицы для определения индекса важности общественного транспорта применялись такие входные параметры, как ширина участка улицы в красных линиях, частота движения общественного транспорта и количество видов общественного транспорта, включая внеуличный. В исследовании рассмотрены все улицы Екатеринбурга, по которым ходит общественный транспорт, при этом частота движения общественного транспорта была принята в одном направлении в связи с тем, что не на всех участках движение осуществляется в двух направлениях.

Сеть велодорожек и велополос в Екатеринбурге фрагментарна и представлена всего несколькими участками. В ходе проведения обследований выявлено, что наличие велодорожки на участке не оказывает влияния на интенсивность движения средств индивидуальной мобильности.

Диапазоны значений входных параметров для участков улиц разных категорий представлены

в табл. 2. Протяженность участков не является определяющим показателем в данной работе, поэтому в таблице не отражена.

Диапазоны значений параметров, полученных по результатам обследований и положенных в основу разделения участков на кластеры, еще раз подчеркивают неоднородность характера использования улиц одной категории и необходимость учета этой неравномерности при проектировании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты кластерного анализа для пешеходов

В результате кластеризации 36 % участков улиц с учетом их четной и нечетной сторон были отнесены к нулевому кластеру, 18 % — ко второму и 46 % — к третьему кластеру. Распределение участков улиц по индексу важности для пешеходов представлено в табл. 3.

По параметру «Ширина улицы в красных линиях» выделены три кластера с центрами на значениях 59, 41 и 28,7 м соответственно. Кластеры хорошо различимы.

По параметру «Интенсивность движения пешеходов» хорошо различимы три кластера с центрами на значениях 919, 640 и 401 пеш./ч соответственно.

По параметру «Плотность объектов торговли и услуг» различия между нулевым и вторым кла-

Табл. 3. Распределение участков улиц по индексу важности для пешеходов

Table 3. Distribution of street sections by Index of Importance for pedestrians

Номер кластера Cluster number	Доля участков улиц, отнесенных к кластеру, % Percentage of street sections assigned to a cluster, %	Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m	Интенсивность движения пешеходов, пеш./ч Pedestrian traffic intensity, persons per hour	Плотность объектов торговли и услуг, ед./100 м Density of retail and service facilities, units per 100 m
0	36			
1	18			
2	46			

Табл. 4. Профили кластеров для пешеходов
Table 4. Profiles of clusters for pedestrians

Атрибут Attribute	Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m				Интенсивность движения пешеходов, пеш./ч Pedestrian traffic intensity, persons per hour				Плотность объектов торговли и услуг, ед./100 м Density of retail and service facilities, units per 100 m			
	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total
Значимость Significance	41	36	34	36	48	40	39	42	27	77	27	39
Минимум Minimum	15	22	11,4	11	0	0	0	0	0	1,6	0	0
Максимум Maximum	200	140	95	200	1809	1694	924	1809	3,66	10,3	2,25	10,3
Среднее Mean	59	41	28,7	41	919	640	401	628	0,73	3,2	0,43	1
Стандартное отклонение Standard deviation	26	14	10	23	221	244	240	330	0,72	1,3	0,58	1,3
Размах Range	185	118	83,6	189	1809	1694	924	1809	3,66	8,8	2,25	10,3
Значения Values	481	240	629	1350	481	240	629	1350	481	240	629	1350
Центр кластера Cluster centre	59	41	28,7	–	919	640	401	–	0,73	3,2	0,43	–

стером не ярко выражены, центры кластеров располагаются на значениях 0,73 и 0,43 единицы соответственно. Хорошо различим кластер 1 с центром на значении 3,2 м и значимость параметра 77, т.е. активность уличного фронта является важным параметром при распределении участков улиц по важности

для пешеходов. Профили кластеров для пешеходов приведены в табл. 4.
Разделение входных параметров на кластеры с учетом координат центров кластеров и стандартного отклонения представлено на рис. 2.
Значение нулевого кластера характеризуется интенсивностью движения пешеходов более 700 пеш./ч,

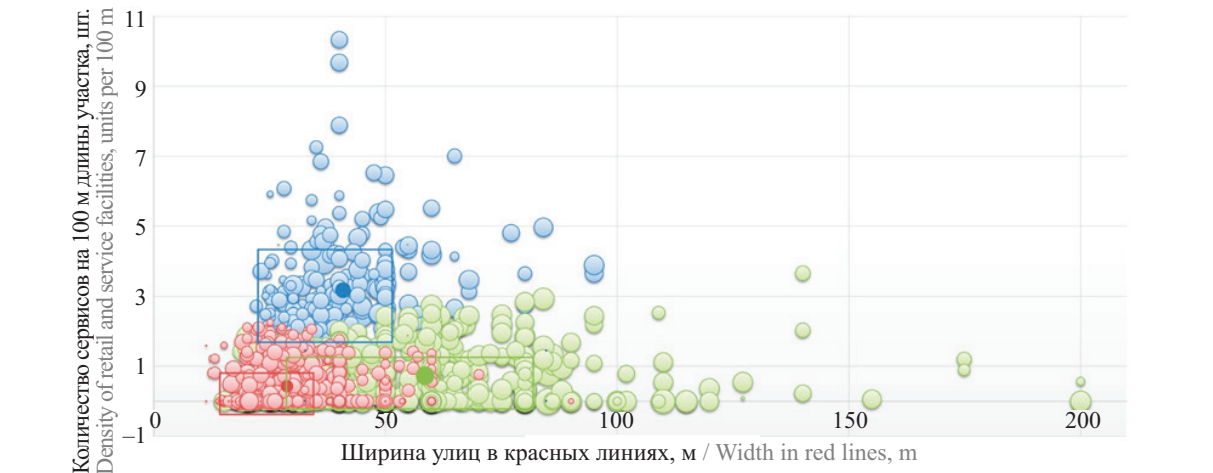


Рис. 2. Пузырьковая диаграмма распределения участков улиц на кластеры для пешеходов: нулевой кластер — зеленые точки; первый кластер — синие точки; второй кластер — красные точки. Площади точек пропорциональны интенсивности движения пешеходов, чел./ч. Центры кластеров и окрестности вокруг них размером, равным двум стандартным отклонениям, обозначены сплошным цветом соответствующего оттенка
Fig. 2. Bubble diagram of street section distribution into pedestrian clusters: 0 cluster — green dots; 1 cluster — blue dots; 2 cluster — red dots. The areas of the dots are proportional to the pedestrian traffic intensity, persons per hour. The cluster centres and their surroundings of size equal to two standard deviations are indicated by a solid colour of the corresponding shade

Табл. 5. Распределение участков улиц по индексу важности для средств индивидуальной мобильности
Table 5. Distribution of street sections by Index of Importance for individual mobility vehicles

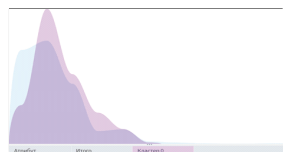
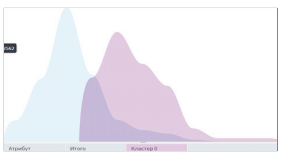
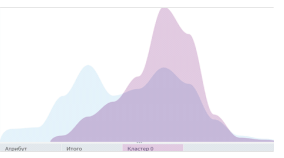
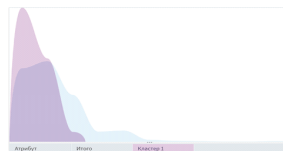
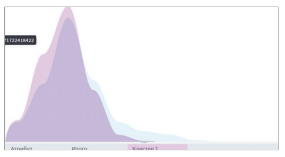
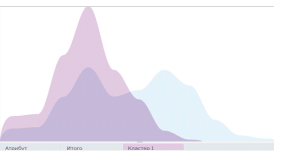
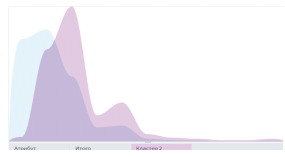
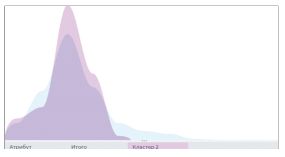
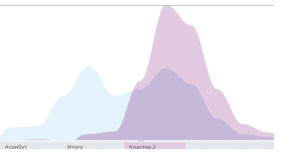
Номер кластера Cluster number	Доля участков улиц, отнесенных к кластеру, % Percentage of street sections assigned to a cluster, %	Ширина в красных линиях Width in red lines	Ширина тротуара, м Sidewalk width, m	Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности, ед./ч Intensity of individual mobility vehicles, units per hour
0	14			
1	51			
2	35			

Табл. 6. Профили кластеров для средств индивидуальной мобильности
Table 6. Cluster profiles for individual mobility devices

Атрибут Attribute	Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m				Ширина тротуара, м Sidewalk width, m				Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности, ед./ч Intensity of individual mobility vehicles, units per hour			
	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total
Значимость Significance	41	38	46	41	78	23	26	35	55	45	54	53
Минимум Minimum	18	11,4	20	11	4,2	0	0	0	54	0	39	0
Максимум Maximum	109	60	200	200	13,5	6,5	5,6	13,5	234	162	250	250
Среднее Mean	46	28,3	59	41	6,4	2,77	2,98	3,4	145	78	160	116
Стандартное отклонение Standard deviation	17	8,5	26	23	1,6	1,15	1,16	1,8	32	31	29	49
Размах Range	92	48,6	180	189	9,3	6,5	5,6	13,5	180	162	211	250
Значения Values	196	683	471	1350	196	683	471	1350	196	683	471	1350
Центр кластера Cluster centre	46	28,3	59	–	6,4	2,77	2,98	–	145	78	160	–

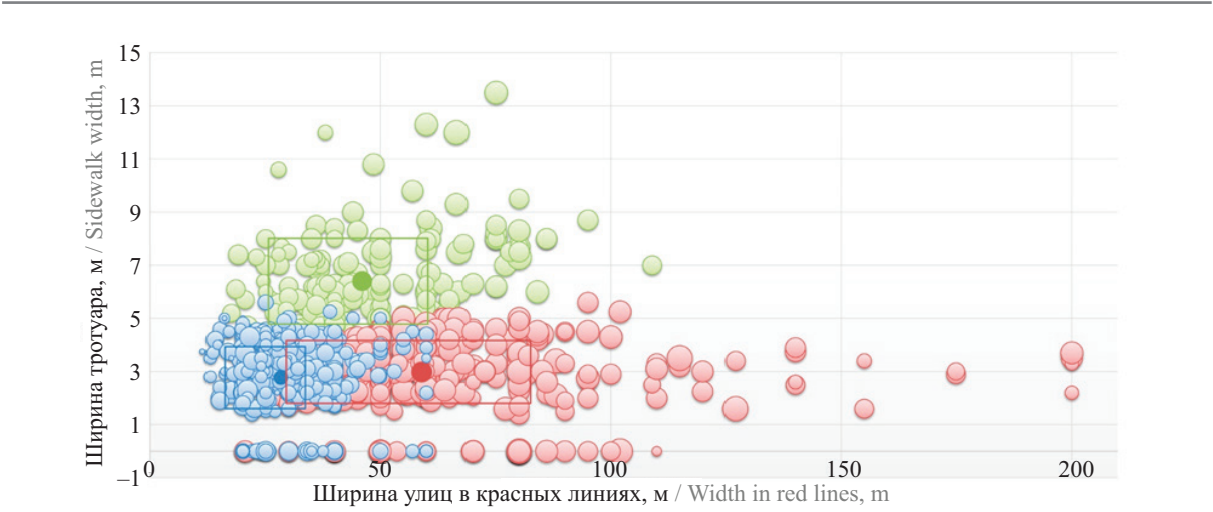


Рис. 3. Пузырьковая диаграмма распределения участков улиц на кластеры для средств индивидуальной мобильности: нулевой кластер — зеленые точки; первый кластер — синие точки; второй кластер — красные точки. Площади точек пропорциональны интенсивности движения средств индивидуальной мобильности, ед./ч. Центры кластеров и окрестности вокруг них размером, равным двум стандартным отклонениям, обозначены сплошным цветом соответствующего оттенка

Fig. 3. Bubble diagram of street section distribution into clusters for individual mobility vehicles: 0 cluster — green dots; 1 cluster — blue dots; 2 cluster — red dots. The areas of the dots are proportional to the intensity of individual mobility vehicles, units per hour. The cluster centres and their surroundings of size equal to two standard deviations are indicated in solid colour of the corresponding shade

средней шириной в красных линиях 59 м и средней плотностью сервисов на 100 м длины перегона, равной 0,73 ед.; первый кластер характеризуется интенсивностью движения пешеходов со средним значением 640 пеш./ч, шириной в красных линиях 41 м и активным уличным фронтом, равным 3,2 ед. на 100 м длины перегона; второй кластер выделяется невысокой интенсивностью движения пешеходов 400 пеш./ч,

Табл. 7. Распределение участков улиц по индексу важности для общественного транспорта

Номер кластера Cluster number	Доля участков улиц, отнесенных к кластеру, % Percentage of street sections assigned to a cluster, %	Ширина в красных линиях Width in red lines	Частота движения, ед./ч Public transport frequency, units per hour	Количество видов транспорта Number of public transport types
0	55			
1	34			
2	11			

Табл. 8. Профили кластеров для общественного транспорта
Table 8. Cluster profiles for public transport

Атрибут Attribute	Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m				Частота движения, ед./ч Public transport frequency, units per hour				Количество видов транспорта Number of public transport types			
	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total	0	1	2	Итого Total
Значимость Significance	26	31	84	36	37	59	41	51	52	73	85	91,5
Минимум Minimum	15	23	67	15	1	20	1	0	1	2	1	1
Максимум Maximum	70	95	155	155	68	165	75	165	3	4	3	4
Среднее Mean	42	51,5	94	51	22,3	82	28,6	43	1,58	2,99	1,98	2,11
Стандартное отклонение Standard deviation	12,4	14,3	26	22	14,4	33	16,9	36	0,52	0,27	0,66	857
Размах Range	55	72	88	140	68	145	74	165	3	2	2	0,8
Значения Values	223	140	44	407	223	140	44	407	223	140	44	407
Центр кластера Cluster centre	42	51,5	94	—	22,3	82	28,6	—	1,58	2,99	1,98	—

шириной улицы в красных линиях до 40 м и низкой активностью фронта со средним значением 0,43 ед. на 100 м длины перегона.

Результаты кластерного анализа для средств индивидуальной мобильности

В результате кластеризации 14 % участков улиц были отнесены к нулевому кластеру, 51 % — ко вто-

рому и 35 % — к третьему кластеру. Распределение участков улиц по индексу важности для средств индивидуальной мобильности приведено в табл. 5.

По параметру «Ширина улицы в красных линиях» выделены три кластера с центрами на значениях 46, 28 и 59 м соответственно. Кластеры достаточно хорошо различимы и схожи с получившимися при кластеризации по пешеходам.

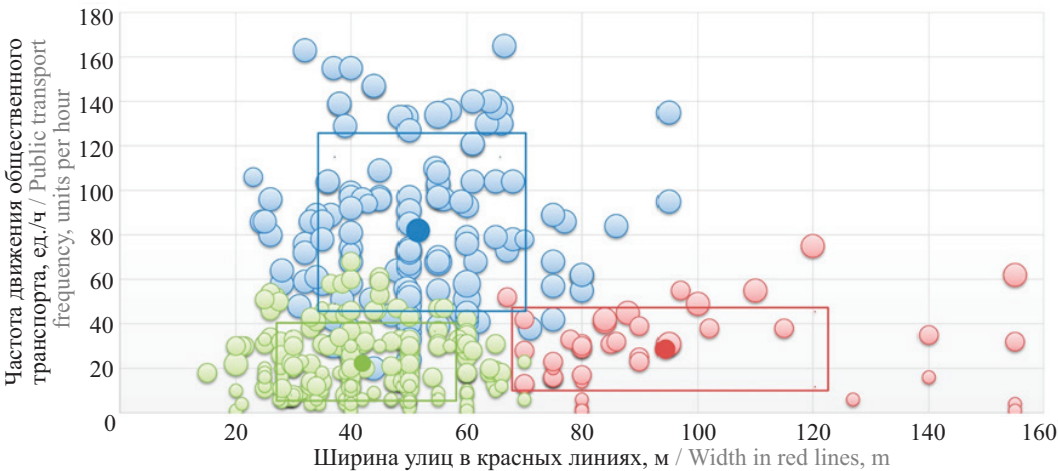


Рис. 4. Пузырьковая диаграмма распределения участков улиц на кластеры для общественного транспорта: нулевой кластер — зеленые точки; первый кластер — синие точки; второй кластер — красные точки. Площади точек пропорциональны количеству видов транспорта, ед. Центры кластеров и окрестности вокруг них размером, равным двум стандартным отклонениям, обозначены сплошным цветом соответствующего оттенка

Fig. 4. Bubble diagram of street section distribution into clusters for public transport: 0 cluster — green dots; 1 cluster — blue dots; 2 cluster — red dots. The areas of the dots are proportional to the number of public transport types, units. The cluster centres and their surroundings of size equal to two standard deviations are indicated by a solid colour of the corresponding shade

По параметру «Ширина тротуара» различия между первым и вторым кластером незначительны, центры кластеров располагаются на значениях 3,0 и 2,8 м соответственно. Хорошо различим кластер 0 с центром на значении 6,4 м и значимостью параметра, равной 78. Кластеры также схожи с получившимися при кластеризации по пешеходам.

По параметру «Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности» хорошо различимы три кластера с центрами на значениях 145, 78 и 160 ед./ч соответственно.

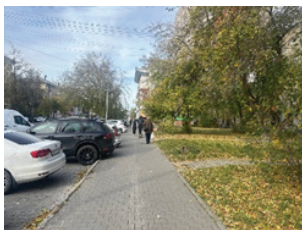
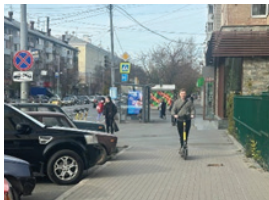
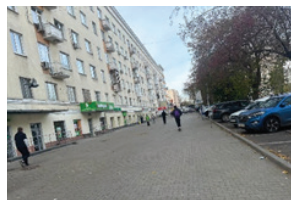
Профили кластеров для средств индивидуальной мобильности представлены в табл. 6.

Разделение входных параметров на кластеры с учетом координат центров кластеров и стандартного отклонения представлено на рис. 3.

Значение нулевого кластера характеризуется интенсивностью движения средств индивидуальной мобильности более 130 ед./ч, средней шириной в красных линиях, равной 46 м, и средним значением ширины тротуара 6,4 м; первый кластер характеризуется небольшой интенсивностью движения пешехо-

Табл. 9. Значения параметров для присвоения индекса важности пользователей

Table 9. Values of parameters for assigning the Index of Importance to users

Пользователь User	Индекс важности Index of Importance		
	0	0,5	1
Пешеходы Pedestrians	Интенсивность движения пешеходов до 600 пеш./ч при ширине в красных линиях до 30 м «активности» фронта до 1 двери на 100 м длины перегона Pedestrian traffic intensity up to 600 pedestrians per hour with a width in red lines up to 30 m, the front “activity” up to 1 door per 100 m of the street section length	Интенсивность движения пешеходов от 400 до 700 пеш./ч при ширине в красных линиях больше 30 м и «активности» фронта более 2,5 дверей на 100 м длины перегона Pedestrian traffic intensity is more than 400 to 700 pedestrians per hour, the width in red lines is more than 30 m and the front “activity” is more than 2.5 doors per 100 m of the street section length	Интенсивность движения пешеходов более 700 пеш./ч при ширине в красных линиях больше 40 м и «активности» фронта до 2,5 дверей на 100 м длины перегона Pedestrian traffic intensity is more than 700 pedestrians per hour, the width in red lines is more than 40 m and the front “activity” is up to 2.5 doors per 100 m of the street section length
	Пример участка улицы по индексу важности для пешеходов An example of a street section according to the Index of Importance for Pedestrians		
			
Средства индивидуальной мобильности Individual mobility vehicles	Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности менее 110 ед./ч при ширине в красных линиях до 40 м и ширине тротуара менее 3 м Traffic intensity of individual mobility vehicles is less than 110 units per hour with a width in red lines of up to 40 m and a sidewalk width less than 3 m	Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности более 110 ед./ч при ширине в красных линиях от 40 до 60 м и средней ширине тротуара, равной 6 м Traffic intensity of individual mobility vehicles is more than 110 units per hour with a width in red lines from 40 to 60 m and an average sidewalk width 6 m	Интенсивность движения средств индивидуальной мобильности более 110 ед./ч при ширине в красных линиях больше 60 м Intensity of movement of individual mobility vehicles is more than 110 units per hour with a width in red lines more than 60 m
	Пример участка улицы по индексу важности для средств индивидуальной мобильности An example of a street section according to the Index of Importance for Individual mobility vehicles		
			

Окончание табл. 9 / End of the Table 9

Пользователь User	Индекс важности Index of Importance		
	0	0,5	1
Общественный транспорт Public transport	Частота движения общественного транспорта до 36 ед./ч при значении ширины улицы в красных линиях меньше 40 м Public transport frequency up to 36 units per hour with street width in red lines less than 40 m	Частота движения общественно-го транспорта от 12 до 36 ед./ч при значении ширины улицы в красных линиях больше 40 м и от 37 до 48 ед./ч при значении ширины улицы в красных линиях меньше 40 м Frequency of public transport from 12 to 36 units/hour with the street width in red lines more than 40 m and from 37 to 48 units per hour with the street width in red lines less than 40 m	Частота движения общественного транспорта более 49 ед./ч при любом значении ширины улицы в красных линиях и количестве видов транспорта Frequency of public transport higher than 49 units per hour at any value of the street width in red lines and the number of transport types
	Пример участка улицы по индексу важности для общественного транспорта An example of a street section according to the Index of Importance for public transport		
			

дов до 110 ед./ч, шириной в красных линиях до 40 м и средней шириной тротуара 2,77 м; второй кластер выделяется интенсивностью движения более 130 ед./ч, средней шириной тротуара 3 м и средним значением ширины в красных линиях 59 м.

Результаты кластерного анализа для общественного транспорта

В результате кластеризации 55 % участков улиц были отнесены к нулевому кластеру, 34 % — ко второму и 11 % — к третьему кластеру. Распределение участков улиц по индексу важности для общественного транспорта представлено в табл. 7.

По параметру «Ширина улицы в красных линиях» различия между первым и вторым кластером незначительны, центры кластеров располагаются на значениях 44 и 43 м соответственно. Хорошо различим нулевой кластер с центром на значении 63 м и значимостью параметра 84.

По параметру «Количество видов транспорта» различим нулевой кластер со значением 1–3 вида, среднее значение 1,58, первый кластер 2–4 вида со средним значением 2,99 и второй кластер 1–3 вида со средним значением 1,98.

По параметру «Частота движения» хорошо различимы три кластера с центрами на значениях 22, 82 и 29 ед./ч соответственно.

Профили кластеров для общественного транспорта приведены в табл. 8.

Разделение входных параметров на кластеры с учетом координат центров кластеров и стандартного отклонения представлено на рис. 4.

Таким образом, нулевой кластер характеризуется небольшой частотой движения, равной 22 ± 14 ед./ч,

нормативным значением ширины в красных линиях и 1–3 видами транспорта на участке; первый кластер характеризуется частотой движения 82 ± 33 ед./ч, нормативной шириной улицы в красных линиях и 2–4 видами транспорта на участке; второй кластер характеризуется частотой движения 29 ± 17 ед./ч, большой шириной улицы в красных линиях и наличием не более 3 видов транспорта.

Назначение индекса важности пользователей на основании проведенного кластерного анализа

Полученные в ходе кластерного анализа значения входных параметров позволили назначить значения для присвоения индекса важности пользователей (табл. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы оценить возможность применения предложенного подхода к реконструкции участков улиц Екатеринбурга, была рассмотрена магистральная улица общегородского значения Малышева. В пределах центрального планировочного района города она имеет одну градостроительную категорию, но разную ширину в красных линиях и разный характер использования, что отражено в табл. 10.

Для разработки поперечного профиля был выбран участок от ул. 8 Марта до ул. Добролюбова, так как это несимметричный поперечный профиль в соответствии с индексами важности пользователей, а также имеет ширину в красных линиях, которые совпадают с линией застройки, ширину 36 м, что меньше рекомендуемой для данной категории. В настоящее время в поперечном профиле улица представляет собой шестиполосную проезжую часть ненорматив-

Табл. 10. Характеристика улицы Малышева по характеру использования с применением индекса важности пользователей для разных сторон улиц

Table 10. Characteristics of Malysheva street by type of use using the Index of Importance for users for different sides of the street

Участок Street section		Ширина в красных линиях, м Width in red lines, m	Индекс важности Index of Importance					
от from	до to		Пешеходы Pedestrians		Средства индиви- дуальной мобиль- ности Individual mobility vehicles		Общественный транспорт Public transport	
			четная even	нечетная odd	четная even	нечетная odd	четная even	нечетная odd
Верх-Исетского бульвара Verkh-Isetsky Blvd	Московской Moscovskaya	40	0,5	0,5	1	0,5	1	1
Московской Moscovskaya	Сакко и Ванцетти Sacco and Vanzetti	28	0,5	0,5	0,5	0	1	1
Сакко и Ванцетти Sacco and Vanzetti	Хохрякова Khokhryakova	28	0,5	0,5	0,5	0	1	1
Хохрякова Khokhryakova	8 Марта 8 March	35	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
8 Марта 8 of March	Добролюбова Dobrolyubova	36	0	1	0,5	1	1	1
Добролюбова Dobrolyubova	Гоголя Gogol	36	0,5	0,5	1	0,5	1	1
Гоголя Gogol	Карла Либкнехта Karl Liebknecht	65	0,5	0,5	1	0,5	1	1
Карла Либкнехта Karl Liebknecht	Мамина-Сибиряка Mamin-Sibiryak	65	0,5	0,5	1	1	1	1
Мамина-Сибиряка Mamin-Sibiryak	Луначарского Lunacharskogo	50	0,5	0,5	1	0,5	1	1
Луначарского Lunacharskogo	Бажова Bazhova	36,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
Бажова Bazhova	Восточной Vostochnaya	34	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1

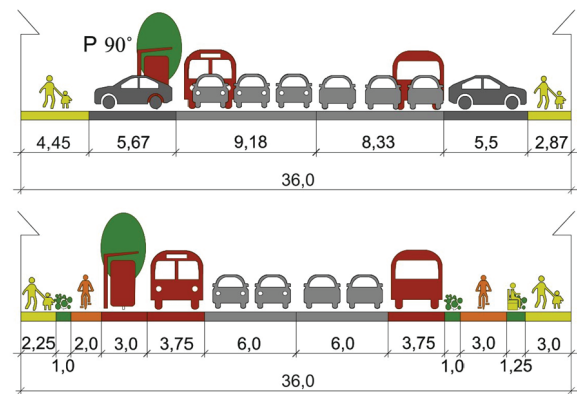


Рис. 5. Существующий и рекомендуемый поперечный профиль ул. Малышева на участке от 8 Марта до Добролюбова. Красные линии совпадают с линией застройки

Fig. 5. The existing and recommended cross-section of Malysheva Street in the section from 8 March to Dobrolyubov. The red lines coincide with the building line

ной ширины, парковочные карманы и пешеходный тротуар. По четной стороне улицы располагается остановка общественного транспорта.

В соответствии с назначенными индексами важности пользователей и рекомендациями, приведенными в табл. 1 настоящей статьи, по четной стороне требуется создание пешеходного тротуара нормативной ширины, организация велополосы на тротуаре или проезжей части, или велодорожки нормативной ширины, обособленной от других пользователей полосой озеленения, и организация движения общественного транспорта на выделенной или обособленной полосе; по нечетной стороне требуется тротуар рекомендуемой ширины с учетом интенсивности движения пешеходов, создание полосы озеленения вдоль тротуара, рекреационных островков и зон отдыха, организация велополосы на тротуаре или на проезжей части, или велодорожки рекомендуемой ширины, обособленной от других пользова-

телей полосой озеленения, и организация движения общественного транспорта на выделенной или обособленной полосе. Ширина полос проезжей части приведена в соответствие действующим нормативам и принята минимальной для данной категории. Существующий и рекомендуемый поперечный профиль ул. Малышева на участке от 8 Марта до Добролюбова представлен на рис. 5.

Применение кластерного анализа к характеристикам существующих участков УДС Екатеринбурга позволило назначить значения параметров для присво-

ения индекса важности пользователей уличного пространства, которые помогают объективно оценить характер использования участка улицы и определить необходимость и полноту мероприятий по созданию соответствующей инфраструктуры, особенно в стесненных условиях имеющейся городской застройки.

Полученные значения параметров для присвоения индекса важности пользователя позволяют проектировать несимметричный поперечный профиль при необходимости, производя оценку условий с каждой стороны от оси участка улицы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Anciaes P., Jones P.* Transport policy for liveability — Valuing the impacts on movement, place, and society // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020. Vol. 132. Pp. 157–173. DOI: 10.1016/j.tra.2019.11.009
2. Данилина Н.В., Теплова И.Д. «Устойчивая» улица — формирование общественных пространств на городских улицах // *Экология урбанизированных территорий*. 2018. № 4. С. 74–80. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14074. EDN YYFSYP.
3. Преловская Е.С., Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Энгель Б. Транспортное планирование в российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2017. № 6 (58). С. 113–119. EDN YNHMYL
4. *Bas J., Al-Khasawneh M.B., Erdoğan S., Cirillo C.* How the design of Complete Streets affects mode choice: Understanding the behavioral responses to the level of traffic stress // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2023. Vol. 173. P. 103698. DOI: 10.1016/j.tra.2023.103698
5. *Wang F., Tan C., Li M., Gu D., Wang H.* Research on Traffic Design of Urban Vital Streets // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Issue 11. P. 6468. DOI: 10.3390/su14116468
6. *Mouratidis K.* Urban planning and quality of life : a review of pathways linking the built environment to subjective well-being // *Cities*. 2021. Vol. 115. P. 103229. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103229
7. *Anciaes P., Jones P.* Transport policy for liveability — Valuing the impacts on movement, place, and society // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020. Vol. 132. Pp. 157–173. DOI: 10.1016/j.tra.2019.11.009
8. Ковалева Т.Н. Транспортные проблемы современного города в контексте модернизации городского пространства // *Гуманитарные и социальные науки*. 2013. № 4. С. 26–34. EDN RCLQJT.
9. *Wen L., Xiao L.* Redevelopment of Urban Public Space : a Review of Urban Street Design Manuals in the World // *Urban Transport of China*. 2014. Vol. 12. Pp. 10–17.
10. *Jones P., Marshall S., Boujenko N.* Creating more people-friendly urban streets through ‘link and place’ street planning and design // *IATSS Research*. 2008. Vol. 32. Issue 1. Pp. 14–25. DOI: 10.1016/s0386-1112(14)60196-5
11. Преловская Е.С. Мультифункциональное уличное пространство: формирование новых классов улиц на основе кластерного анализа // *Градостроительство и архитектура*. 2016. № 3 (24). С. 129–134. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.21. EDN WWOJCP.
12. Шубин Д.А., Скубрий Е.В. Приоритетные направления деятельности органов власти Москвы по проектированию и комплексному благоустройству улично-дорожной сети // *Вестник МГПИУ. Серия: Экономика*. 2022. № 2 (32). С. 16–23. DOI: 10.25688/2312-6647.2022.32.2.02. EDN LGDGKP.
13. *Labdaoui K., Mazouz S., Acidi A., Cools M., Moeinaddini M., Teller J.* Utilizing thermal comfort and walking facilities to propose a comfort walkability index (CWI) at the neighbourhood level // *Building and Environment*. 2021. Vol. 193. P. 107627. DOI: 10.1016/j.buil-denv.2021.107627
14. Галышев А.Б. Оценка качества условий движения пешеходов по тротуарам // *International Journal of Advanced Studies*. 2021. Т. 11. № 3. С. 83–88. DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-3-83-88. EDN CUMCGJ.
15. *Müggenburg H., Blitz A., Lanzendorf M.* What is a good design for a cycle street? — User perceptions of safety and attractiveness of different street layouts // *Case Studies on Transport Policy*. 2022. Vol. 10. Issue 2. Pp. 1375–1387. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.04.021
16. Власов Д.Н., Петросян Ж.А. Методика определения ширины полосы движения для микромобильных видов транспорта // *Устойчивое развитие территорий : сб. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф.* 2022. С. 265–269. EDN ICWWDP.
17. Фомин Е.В., Зеер В.А., Арефьева Е.С., Голуб Н.В. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города // *Вестник Сибирского госу-*

дарственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17. № 3 (73). С. 390–399. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-3-390-399. EDN MSEZEF.

18. Булавина Л.В. Мухаметгалиева А.Р. Совершенствование автобусного сообщения в городе как средство решения транспортных проблем // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2020. № 2 (13). С. 73–85. EDN TBQJXE.

19. Лантева Е.А., Булавина Л.В. Совершенствование организации трамвайного движения на примере Екатеринбурга // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2020. № 4 (15). С. 94–105. EDN ZGDTGY.

20. Rodriguez-Valencia A., Ortiz-Ramirez H.A. Understanding Green Street Design: Evidence from Three Cases in the U. S. // Sustainability. 2021. Vol. 13. Issue 4. P. 1916. DOI: 10.3390/su13041916

21. Банникова Л.А., Хриченков А.В., Бурцев А.Г., Тиганова И.А., Третьякова А.С., Груданов Н.Ю. и др. Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26. № 6. С. 106–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113. EDN DDUDYD.

22. Тиганова И.А., Банникова Л.А., Байборода О.Д. Рекомендации по благоустройству улиц г. Екатеринбурга с учетом характеристики ландшафта // Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 207–211. EDN WPULLE.

23. Теплова И.Д. Градостроительный подход к формированию общественных пространств городских улиц (опыт Берлина и Москвы) // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 1 (33). С. 101–112. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-101-112. EDN KLTCS.

24. Anciaes P., Jones P. Pedestrian priority in street design — how can it improve sustainable mobility? // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 60. Pp. 220–227. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.12.029

25. Банникова Л.А. Пространственная организация участка улицы в зависимости от характера использования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 105–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-105-115. EDN FHFVGL.

Поступила в редакцию 9 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 7 октября 2024 г.

Одобрена для публикации 10 октября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Лариса Александровна Банникова** — старший преподаватель кафедры городского строительства; **Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ)**; 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; l.a.bannikova@urfu.ru;

Виола Анатольевна Ларионова — кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель директора по проектам развития образования, заведующая кафедрой экономики и управления строительством и рынком недвижимости; **Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ)**; 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; v.a.larionova@urfu.ru.

Вклад авторов:

Банникова Л.А. — идея и концепция исследования, сбор и подготовка материала, написание исходного текста, создание иллюстраций и таблиц, итоговые выводы.

Ларионова В.А. — развитие методологии, аналитика данных, визуализация результатов исследования, научное редактирование.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Anciaes P., Jones P. Transport policy for liveability — Valuing the impacts on movement, place, and society. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020; 132:157-173. DOI: 10.1016/j.tra.2019.11.009

2. Danilina N.V., Teplova I.D. “Sustainable” street — formation public spaces on city streets. *Ecology of Urban Areas*. 2018; 4:74-80. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14074. EDN YYFSYP. (rus.).

3. Prelovskaya E.S., Levashev A.G., Michaylov A.U., Engel B. The sustainable transportation planning in russian cities: perspectives for street classification and urban street

design. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 6(58):113-119. EDN YNHMYL. (rus.).

4. Bas J., Al-Khasawneh M.B., Erdoğan S., Cirillo C. How the design of Complete Streets affects mode choice: Understanding the behavioral responses to the level of traffic stress. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2023; 173:103698. DOI: 10.1016/j.tra.2023.103698

5. Wang F., Tan C., Li M., Gu D., Wang H. Research on Traffic Design of Urban Vital Streets. *Sustainability*. 2022; 14(11):6468. DOI: 10.3390/su14116468

6. Mouratidis K. Urban planning and quality of life : a review of pathways linking the built environment to subjective well-being. *Cities*. 2021; 115:103229. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103229
7. Anciaes P., Jones P. Transport policy for liveability — Valuing the impacts on movement, place, and society. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020; 132:157-173. DOI: 10.1016/j.tra.2019.11.009
8. Kovaleva T.N. Transport problems of a modern city in the context of modernization of urban space. *The Humanities and Social Sciences*. 2013; 4:26-34. EDN RCLQJT. (rus.).
9. Wen L., Xiao L. Redevelopment of Urban Public Space: A Review of Urban Street Design Manuals in the World. *Urban Transport of China*. 2014; 12:10-17.
10. Jones P., Marshall S., Boujenko N. Creating more people-friendly urban streets through 'link and place' street planning and design. *IATSS Research*. 2008; 32(1):14-25. DOI: 10.1016/s0386-1112(14)60196-5
11. Prelovskaya E.S. Multifunctional street space: development street classification based on cluster analysis. *Urban Construction and Architecture*. 2016; 3(24):129-134. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.21. EDN WWOJCP. (rus.).
12. Shubin D.A., Skubriy E.V. Priority areas of activity of the authorities of Moscow for the design and integrated improvement of the road network. Bulletin of the Moscow city pedagogical University. *The series "Economics"*. 2022; 2(32):16-23. DOI: 10.25688/2312-6647.2022.32.2.02. EDN LGDGKP. (rus.).
13. Labdaoui K., Mazouz S., Acidi A., Cools M., Moeinaddini M., Teller J. Utilizing thermal comfort and walking facilities to propose a comfort walkability index (CWI) at the neighbourhood level. *Building and Environment*. 2021; 193:107627. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.107627
14. Galyshev A.B. Assessment of the quality of pedestrian traffic conditions on sidewalks. *International Journal of Advanced Studies*. 2021; 11(3):83-88. DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-3-83-88. EDN CUMCGJ. (rus.).
15. Muggenburg H., Blitz A., Lanzendorf M. What is a good design for a cycle street? — User perceptions of safety and attractiveness of different street layouts. *Case Studies on Transport Policy*. 2022; 10(2):1375-1387. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.04.021
16. Vlasov D.N., Petrosyan Zh.A. Methodology for determining the width of the traffic lane for micromobility modes of transport. *Sustainable development of territories : collection of reports of the IV International scientific and practical conference*. 2022; 265-269. EDN ICWWDP. (rus.).
17. Fomin E.V., Zeer V.A., Arefieva E.S., Golub N.V. Ensuring priority for public urban passenger transport on urban streets and road network. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(3):390-399. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-3-390-399. EDN MSEZEF. (rus.).
18. Bulavina L.V., Mukhaletgaliyeva A.R. Transit service in the city as a means of solving transport problems improving bus. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2020; 2(13):73-85. EDN TBQJXE. (rus.).
19. Lapteva E.A., Bulavina L.V. Improvement of tram service's organization in terms of Yekaterinburg. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2020; 4(15):94-105. EDN ZGDTGY. (rus.).
20. Rodriguez-Valencia A., Ortiz-Ramirez H.A. *Understanding Green Street Design: Evidence from Three Cases in the U.S. Sustainability*. 2021; 13(4):1916. DOI: 10.3390/su13041916
21. Bannikova L.A., Khrichenkov A.V., Burtsev A.G., Tiganova I.A., Tret'yakova A. S., Grudanov N.Yu. et al. Modern foundations for green areas formation in Ekaterinburg. *Forestry Bulletin*. 2022; 26(6):106-113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113. EDN DDUDYD. (rus.).
22. Tiganova I.A., Bannikova L.A., Baiborodova O.D. Yekaterinburg street improvement guide based on landscape characteristics. *Actual problems of construction, environmental management, cadastre and land use : collection of scientific papers of the International scientific and practical conference*. 2022; 207-211. EDN WPULLE. (rus.).
23. Teplova I.D. Urban planning approach to the formation public spaces of city streets (experience of berlin and Moscow). *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2021; 1(33):101-112. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-101-112. EDN KLTCSC. (rus.).
24. Anciaes P., Jones P. Pedestrian priority in street design — how can it improve sustainable mobility? *Transportation Research Procedia*. 2022; 60:220-227. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.12.029
25. Bannikova L. Spatial organization of a street section depending on the nature of use. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2023; 5:105-115. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-105-115. EDN FHFVGL. (rus.).

Received August 9, 2024.

Adopted in revised form on October 7, 2024.

Approved for publication on October 10, 2024.

BIONOTES: Larisa A. Bannikova — senior lecturer of the Department of Urban Construction; Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU); 19 Mira st., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation; l.a.bannikova@urfu.ru;

Viola A. Larionova — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Education Development Projects, Head of the Department of Economics and Management of Construction and the Real Estate Market; **Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU)**; 19 Mira st., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation; v.a.larionova@urfu.ru.

Contribution of the authors:

Larisa A. Bannikova — research idea, research concept, collection and preparation of material, writing of the original text, creation of illustrations and tables, final conclusions.

Viola A. Larionova — development of methodology, data analytics, visualization of research results, scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.