

УДК 378.146

08.00.13 Математические и инструментальные методы экономики (экономические науки)

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ
КЛАССИФИКАЦИЯ УРОВНЕЙ
ЗАГРУЖЕННОСТИ ГОРОДСКОГО
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ**

Параскевов Александр Владимирович
старший преподаватель
SPIN-код: 2792-3483
e-mail paraskevov.a@kubsau.ru

Чемарина Анна Валерьевна
старший преподаватель
SPIN-код: 1013-2297
e-mail lyasenkoa@mail.ru

Ахлестова Анна Александровна
студентка
e-mail aakhlestova@gmail.com
ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

Общих принципов и правил городского развития почти никогда не существовало. То, каким (в геометрическом смысле) должно быть поселение, зависит от многих разрозненных факторов. Определенную роль играют ландшафтный компонент, транспортный фактор и фактор ресурсов. Когда есть естественные преграды (леса, горы), людям уже давно гораздо удобнее устраивать свой дом в более плоской части. Наличие рек всегда привлекало жителей – это и источник продовольствия, и важный транспортный узел, где всегда есть возможность наняться на работу. Районы добычи полезных ископаемых были построены вокруг источника ресурсов и, конечно же, занятости. Почти никогда урбанизация не основывалась на принципе транспортного планирования. Такие случаи единичны и лишь подтверждают общую тенденцию. Городская инфраструктура - это динамично развивающийся и меняющийся объект

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ, ЗАГРУЖЕННОСТЬ СЕТИ, УРБАНИЗАЦИЯ, ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-173-011>

UDC 378.146

08.00.13 Mathematical and instrumental methods of economics (economic sciences)

**ECONOMIC AND TECHNICAL
CLASSIFICATION OF THE CITY TRAFFIC
CONGESTION LEVELS**

Paraskevov Alexander Vladimirovich
senior lecturer
RSCI SPIN-code: 2792-3483
e-mail paraskevov.a@kubsau.ru

Chemarina Anna Valeryevna
senior lecturer
RSCI SPIN-code: 1013-2297
e-mail lyasenkoa@mail.ru

Akhlyostova Anna Alexandrovna
student
e-mail aakhlestova@gmail.com
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Krasnodar, Russia

Common principles and rules for urban development have almost never existed. The way (in a geometric sense) a settlement should be depends on many disparate factors. The landscape component, transport factor, and resource factor play a role. When there are natural barriers (forests, mountains), it has long been much more convenient for people to arrange their home in flatter part. The presence of rivers has always attracted residents – it is both a source of food and an important transport hub where there is always a possibility to be hired. Mining areas were built around the source of resources and, of course, employment. Almost never has urbanization been based on the principle of transport planning. Such cases are isolated and only confirm the general trend. Urban infrastructure is a dynamically developing and changing object

Keywords: MODELING OF SOCIO-ECONOMIC PROCESSES, TRANSPORT NETWORK, NETWORK CONGESTION, URBANIZATION, TRANSPORT PLANNING

В сложившейся ситуации направление развития всей транспортной инфраструктуры города должно осуществляться только путем разработки

<http://ej.kubagro.ru/2021/09/pdf/11.pdf>

первоначальной комплексной транспортной схемы. При этом следует учитывать как грузовые, так и пассажирские перевозки по всему городу. И в контексте этого развития, безусловно, необходимо немедленно рассмотреть пригородные города-спутники, количество, качество и направление дорог там. Без улучшения этих объектов не будет решения проблемы. Все пробки будут просто сдвинуты на несколько километров, и вполне возможно, что реализация мер их преодоления растянется на несколько лет. Комплексная схема организации дорожного движения должна содержать пересечение железнодорожных линий, которые буквально делят город на несколько частей и создают эффект узкого места, в котором жители оказываются в ловушке в час пик транспортной инфраструктуры.

Разработка проектов организации дорожного движения в нерабочие и праздничные дни также является ключевым моментом в связи с тем, что в эти дни, как правило, главная улица закрыта для всего движения и пересечь ее можно только в 3-5 местах, что неприемлемо при текущей нагрузке на транспортную инфраструктуру и противоречит задачам оптимизации всей транспортной сети.

На рисунке 1 показано использование методологии классификации, основанной на уровне загруженности дорог (LTC), согласно данным, для дорожной сети Краснодара. На верхнем уровне уровень данных в значительной степени зависит от обработки географической информационной системой (ГИС) для построения набора сегментов и пересечений дорожной сети, необходимых для кластеризации компонента. После определения переменных необходимо провести кластерный анализ с репрезентативным подмножеством сети для классификации сегментов с аналогичными характеристиками. Мы представляем статистический анализ результатов методологии классификации, основанной на LTC, с использованием различных репрезентативных подмножеств.

Используя результаты классификатора, необходимо определить вероятность принадлежности нового сегмента к этому кластеру. Классифицировав все сегменты по различным кластерам, интерпретирующий компонент методологии распределяет кластеры по уровням загруженности в соответствии с LTC. Показатели соотносятся с собранными статистическими сведениями по конкретному участку транспортной сети. Подобным образом происходит классификация пересечений транспортных дуг сети, что является обязательным и неотъемлемым пунктом в алгоритме решения поставленной задачи.

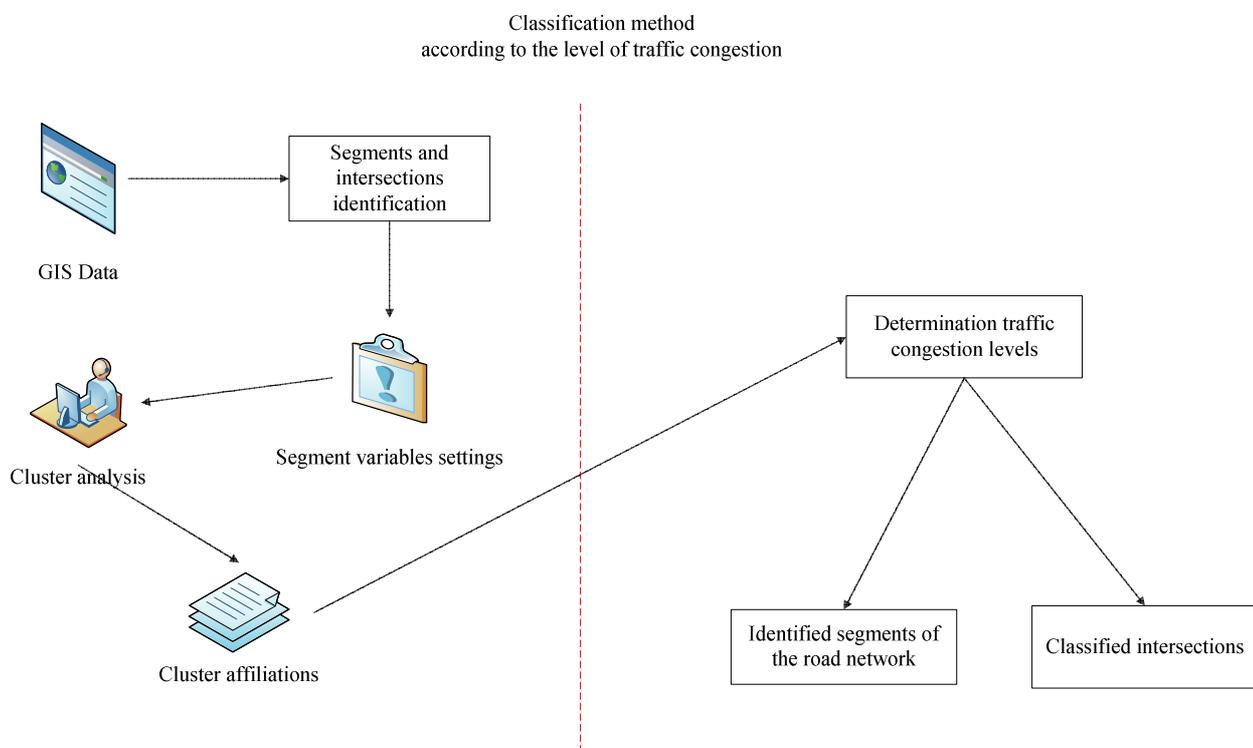


Рисунок 1 – Общий обзор методологии классификации уровней загруженности дорожного движения.

Используем восемь переменных, рассматриваемых в качестве факторов загруженности, для классификации сегментов дорожной сети по различным кластерам.

Эти переменные присутствуют в большинстве методологий LTC, обсуждаемых в литературе [1]. В дополнение к легкости доступности и простоте расчета, набор переменных является всеобъемлющим: три фиксируют физические факторы участков дороги, один фиксирует состав движения и четыре фиксируют условия движения. В таблице 1 представлены восемь переменных.

Таблица 1 – Переменные уровней транспортной загруженности

№	Переменная
1	Ширина проезжей части
2	Количество полос движения
3	Наличие велосипедной инфраструктуры
4	Наличие большегрузных транспортных средств
5	Скорость потока
6	Плотность движения
7	Транспортный поток
8	Индекс загруженности

Здесь представляем краткое описание переменных, начиная с четырех, которые описывают сегменты дорог и их встроенную среду.

1. Ширина проезжей части: Непрерывная переменная, представляющая ширину участка дороги, измеряемая как расстояние от одной стороны дороги до другой.

2. Количество полос движения: дискретная переменная, представляющая количество линий движения одного транспортного средства в данном сегменте.

3. Наличие велосипедной инфраструктуры: эта переменная указывает на наличие велосипедной инфраструктуры вдоль участка дороги. Это может быть категориальная переменная, указывающая тип

существующей инфраструктуры, или, учитывая ограниченность данных, двоичная переменная, указывающая на наличие или отсутствие инфраструктуры.

4. Наличие большегрузных транспортных средств: двоичная переменная, указывающая, разрешает ли местная администрация транзит большегрузных транспортных средств.

В литературе по транспортному планированию дорожное движение обычно объясняется взаимосвязью между четырьмя переменными: скоростью, плотностью движения, транспортным потоком и заторами. Для расчета всех этих переменных для конкретного участка дороги используются хорошо известные формулы в области транспортного планирования. Эти формулы основаны на среднем и свободном времени потока соответственно.

Переменные трафика.

Скорость транспортного средства (v): Непрерывная переменная, указывающая среднюю скорость механического автотранспорта. Показатель выводится путем деления длины хорды на усредненный показатель времени его преодоления [2].

Плотность движения (k): говорит о количественном показателе загруженности участка уличной дорожной сети на единицу времени. Классические формулы для определения плотности движения в литературе по планированию дорожного движения были предложены Гриншилдсом (1935), Гринбергом (1959), Андервудом (1961), Дрейком (1967). Метод Гаусса используется для расчета плотности движения (Дрейк, 1967).

$$k = k_0 \left(2 \ln \left(\frac{v_0}{v} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где k_0 - плотность движения на остановке, то есть количество транспортных средств на проезжей части на единицу длины; v - скорость потока, полученная при прохождении потока.

Транспортный поток (q): категориальная переменная, для регистрации количественного показателя транспортных средств, на участке транспортной сети в единицу времени. Для определения количественного показателя этой переменной используется универсальная формула выведения транспортного потока.

$$q = k \cdot v \quad (2)$$

где плотность движения, а где скорость транспортных средств.

Индекс загруженности: непрерывная переменная, описывающая уровень загруженности дорог на данном участке дороги. Для расчета этой переменной используется индекс загруженности. Этот показатель представляет собой среднюю задержку, с которой сталкивается обычное транспортное средство на отрезке, по сравнению со временем, необходимым для прохождения отрезка в свободном потоке. Для его расчета используется следующая формула:

$$v = \frac{t - t_0}{t_0} \quad (3)$$

Использование восьми переменных в качестве входных данных для кластерного анализа необходимо для корреляции и идентификации группы сегментов транспортной сети с аналогичными характеристиками. Однако, в зависимости от наличия данных или контекста, могут быть включены и другие факторы [1].

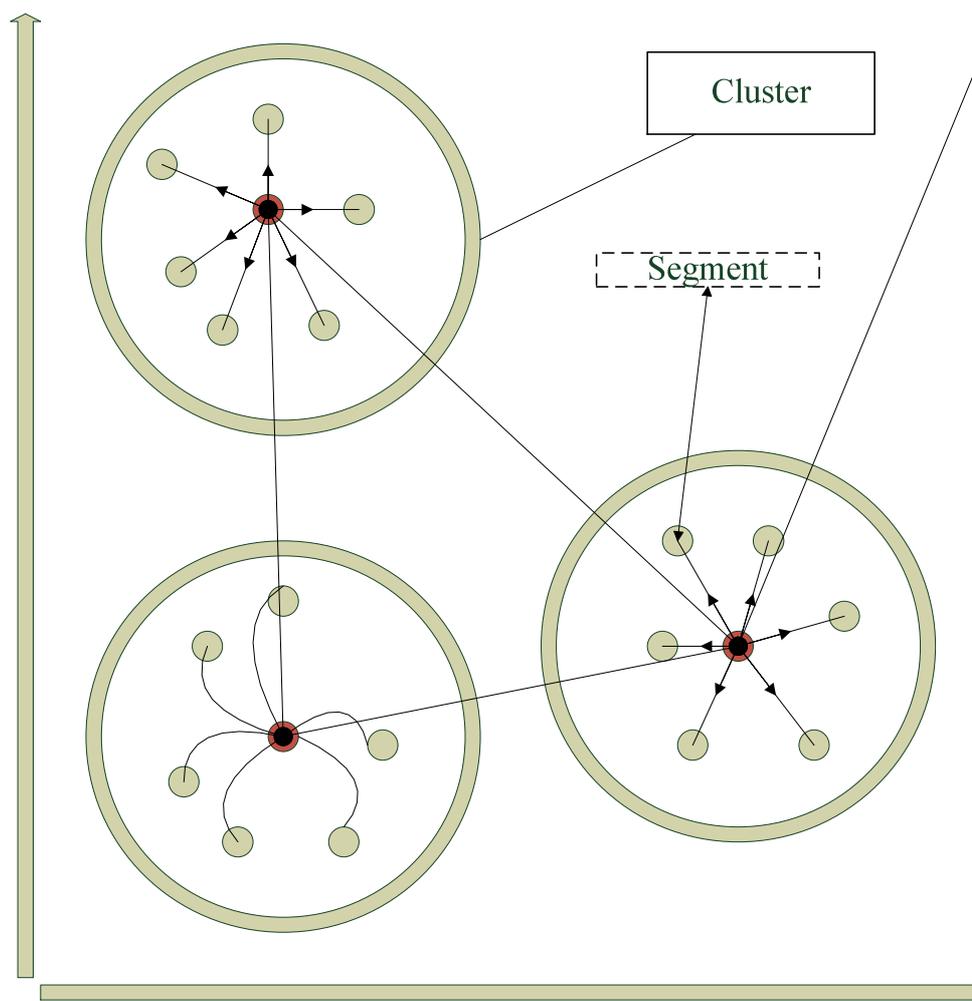


Рисунок 2 – Структура кластерного анализа

Стратегическая цель кластерного анализа состоит в том, чтобы найти группировки сегментов дорог на основе выведенных показателей. Сегменты, принадлежащие кластеру должны иметь одинаковые качественные и количественные характеристики, другими словами, иметь характеристические свойства, чтобы быть выделенными среди остальных. Чтобы проиллюстрировать этот шаг, давайте рассмотрим пример, в котором строятся участки дороги с двумя характеристиками (т. е. переменными). На основе этих двух переменных можно визуально идентифицировать три кластера. Сегменты в этом кластере имеют схожие характеристики и отличаются от сегментов в двух других кластерах [2].

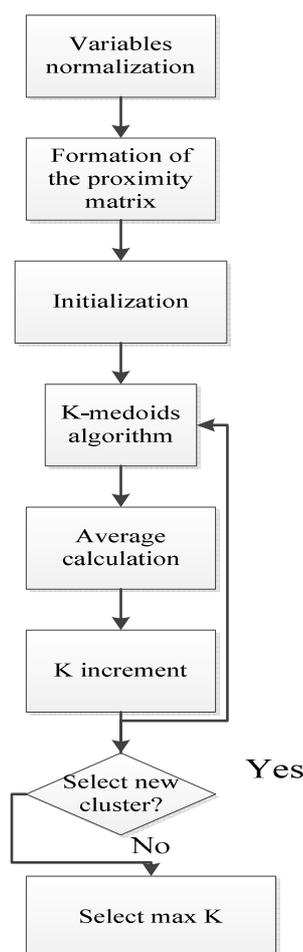


Рисунок 3 – Обзор алгоритма кластерного анализа

На рисунке 3 показан общий вид алгоритма кластерного анализа для поиска групп участков дорог. Он состоит из этапов нормализации переменных, расчета матрицы близости между каждой парой сегментов дороги. Кластерный анализ основан на алгоритме «K-medoids», который группирует похожие сегменты в K кластеров.

Нормализация переменных: мы нормализуем переменные сегментов дорог, чтобы избежать смещения в процессе сравнения из-за различий в масштабе. В частности, удобно использовать метод подсчета очков для преобразования непрерывных переменных с сохранением их первоначальной распределительной формы. Используем этот метод для нормализации ширины сегментов, количества полос движения, скорости

транспортных средств, плотности движения, транспортного потока и индекса загруженности.

Матрица близости: Входными данными для алгоритма «K-medoids» является матрица близости, которая определяет сходство между каждой парой сегментов дороги.

Алгоритм «K-medoids»: Этот алгоритм присваивает все элементы (т. е. сегменты дорог) K кластерам таким образом, чтобы минимизировать расстояние между каждым элементом в кластере (см. линии внутри кластеров на рис. 2), в то же время делая максимальное расстояние между парами кластеров (см. черные линии между кластерами на рис. 2). В частности, мы используем алгоритм разделения (PAM), потому что он известен как один из самых надежных алгоритмов и работает с непрерывными и дискретными переменными.

Средний расчет: используется для проверки правильности классификации сегментов в кластере. Более высокие показатели однозначно определяют правильность дифференцирования сегмента транспортной сети и отнесения его к нужному кластеру.

Оптимальное количество кластеров: Чтобы определить оптимальное количество кластеров, вам необходимо итеративно увеличивать количество кластеров и выбирать тот, который максимизирует. Оптимальное количество кластеров может варьироваться в зависимости от данных комплексной транспортной системы.

Выводы.

В целом становится очевидным, что меры по эффективной организации городского движения должны носить исключительно комплексный характер, чтобы создать лидирующий потенциал для развития. Единой причины заторов не существует, поэтому решения должны быть реализованы совместно. Организация качественного дорожного покрытия и настройка светофоров в режиме "зеленой волны"

сами по себе не помогут, если спрос на поездки превысит пределы физической вместимости транспортной хорды. Приоритетными мерами являются определение объектов городских зон, требующих технического совершенствования, а также соединение этих территорий достаточным и современным количеством автомобильных дорог, создание транспортной инфраструктуры, требующей улучшения или создания, подсчет количества и повышение качества и эффективности связей между пригородными населенными пунктами и городскими автомагистралями.

Наиболее значимыми результатами являются то, что улучшили модель балансировки транспортного потока городской сети с эластичным спросом с точки зрения введения ограничений на экологическую нагрузку на участки улично-дорожной сети. Кроме того, адаптировали алгоритм решения уравнений двухуровневой модели введения платы за проезд (SAB).

Еще одним преимуществом работы является то, что улучшили модель для расчета основных параметров загруженности городских дорог. Кроме того, мы адаптировали численную модель для расчета основных показателей трафика. Практическая значимость исследования заключается в возможности непосредственного использования усовершенствованных методов, алгоритмов, архитектур и программного обеспечения для функционирования в составе системы управления городским движением.

Способ позволяет повысить плавность транспортного потока по всей дорожной сети, а также дополнительные финансовые потоки для текущего ремонта и улучшения элементов дорожной сети.

В целом, реализация результатов моделирования в части определения параметров и интеграции системы введения платы за проезд приведет к устранению заторов в результате превышения спроса над предложением. Это должно произойти путем замены простоя в пробке эквивалентным тарифом.

Список литературы

1. Параскевов А. В. Совершенствование управления дорожным движением (обзор) / А. В. Параскевов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008.
2. Чемеркина А. А. Совершенствование модели управления транспортными потоками / А. А. Чемеркина, А. В. Параскевов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008.
3. Лойко В. И. Разработка и применение инструментального средства расчета характеристик городских автомобильных дорог (на примере г. Краснодара) / В. И. Лойко, А. В. Параскевов, А. А. Чемеркина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008.
4. Лойко В. И. Математическая модель расчета экономических параметров управления транспортными потоками / В. И. Лойко, А. В. Параскевов, А. А. Чемеркина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008.
5. Лойко В. И. Разработка и применение инструментального средства для расчета маршрутов транспортных средств в условиях города Краснодара / В. И. Лойко, А. В. Параскевов, Р. Р. Бариев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009.
6. Лойко В.И. Меры по обеспечению эффективной организации городского дорожного движения / В. И. Лойко, А. В. Параскевов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010.
7. Параскевов А. В. Анализ проблемных участков городской транспортной сети (на примере г.Краснодара) / А. В. Параскевов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014.
8. Параскевов А. В. Оптимизация загруженности уличной дорожной сети / А. В. Параскевов, В. К. Желиба // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015.
9. Параскевов А. В. Перспективы экстенсивного развития городской транспортной инфраструктуры / А. В. Параскевов, К. М. Иваненко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2019.
10. Параскевов А. В. Перспективы развития городской уличной дорожной инфраструктуры / А. В. Параскевов, А. В. Чемарина, К.М. Иваненко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2019.
11. Параскевов А. В. Методика применения уровней транспортной загруженности при организации транспортного планирования города / А. В. Параскевов

// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2020.

References

1. Paraskevov A. V. Sovershenstvovanie upravlenija dorozhnym dvizheniem (obzor) / A. V. Paraskevov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2008.

2. Chemerkina A. A. Sovershenstvovanie modeli upravlenija transportnymi potokami / A. A. Chemerkina, A. V. Paraskevov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2008.

3. Lojko V. I. Razrabotka i primenenie instrumental'nogo sredstva rascheta harakteristik gorodskih avtomobil'nyh dorog (na primere g. Krasnodara) / V. I. Lojko, A. V. Paraskevov, A. A. Chemerkina // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2008.

4. Lojko V. I. Matematicheskaja model' rascheta jekonomicheskikh parametrov upravlenija transportnymi potokami / V. I. Lojko, A. V. Paraskevov, A. A. Chemerkina // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2008.

5. Lojko V. I. Razrabotka i primenenie instrumental'nogo sredstva dlja rascheta marshrutov transportnyh sredstv v uslovijah goroda Krasnodara / V. I. Lojko, A. V. Paraskevov, R. R. Bariev // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2009.

6. Lojko V. I. Mery po obespecheniju jeffektivnoj organizacii gorodskogo dorozhnogo dvizhenija / V. I. Lojko, A. V. Paraskevov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2010.

7. Paraskevov A. V. Analiz problemnyh uchastkov gorodskoj transportnoj seti (na primere g. Krasnodara) / A. V. Paraskevov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014.

8. Paraskevov A. V. Optimizacija zagruzhennosti ulichnoj dorozhnoj seti / A. V. Paraskevov, V. K. Zheliba // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015.

9. Paraskevov A. V. Perspektivy jekstensivnogo razvitija gorodskoj transportnoj infrastruktury / A. V. Paraskevov, K. M. Ivanenko // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2019.

10. Paraskevov A. V. Perspektivy razvitija gorodskoj ulichnoj dorozhnoj infrastruktury / A. V. Paraskevov, A. V. Chemarina, K. M. Ivanenko // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2019.

11. Paraskevov A. V. Metodika primenenija urovnej transportnoj zagruzhennosti pri organizacii transportnogo planirovanija goroda / A. V. Paraskevov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2020.