

## Оценка эффективности движения транспортных потоков на основе обработки навигационных данных о движении транспортных средств

Докт. техн. наук Д. В. Капский<sup>1)</sup>, магистры техн. наук В. В. Касьяник<sup>2)</sup>, А. В. Евтух<sup>2)</sup>, канд. техн. наук, доц. О. А. Капцевич<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

<sup>2)</sup>Брестский государственный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

<sup>3)</sup>ОАО «АГАТ – системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** Рассмотрены метод оценки параметров транспортных потоков и определения эффективности вариантов организации дорожного движения, а также качества дорожного движения. Разработан метод оценки основных параметров транспортного потока с использованием двухжидкостной математической модели Германа – Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении дорожных транспортных средств на транспортных магистралях и улично-дорожной сети городов. Достоинствами и новизной разработанного метода (в отличие от традиционного использования математической модели Германа – Пригожина на основе активной обработки навигационных данных) являются: пассивная обработка GPS-треков и поддержка их форматов, что позволяет существенно повысить качество и адекватность результатов модели; облачная обработка данных (использование для хранения больших объемов данных облачного хранилища); наличие клиентского мобильного приложения для ОС Android для сбора данных в дополнение к работе с уже собранными навигационными данными от навигационно-информационного центра и других источников; применение для расчетов и обработки данных современных веб-технологий; масштабируемость и настраиваемость системы. Работоспособность предложенных алгоритмов, математических моделей оценки параметров транспортных потоков и системы в целом подтверждена в ходе ее апробации с использованием набора треков на основных магистралях Беларуси.

**Ключевые слова:** транспортное средство, навигационная система, математическая модель оценки транспортных потоков

**Для цитирования:** Оценка эффективности движения транспортных потоков на основе обработки навигационных данных о движении транспортных средств / Д. В. Капский [и др.] // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 5. С. 444–454. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-444-454

## Evaluation of Transport Flow Efficiency on the Basis of Traffic Movement Data

D. V. Kapskiy<sup>1)</sup>, V. V. Kasyanik<sup>2)</sup>, A. V. Evtuh<sup>2)</sup>, O. A. Kaptsevich<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

<sup>2)</sup>Brest State Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

<sup>3)</sup>Open Joint-Stock Company (OJSC) “AGAT – Control Systems” – Managing Company of Geoinformation Control Systems Holding” (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** The paper considers a method for evaluation of transport flow parameters and determine an efficiency of variants concerning organization of traffic movement and provision of qualitative transportation. A method for evaluation of main

### Адрес для переписки

Капский Денис Васильевич  
Белорусский национальный технический университет  
ул. Я. Коласа, 12,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 331-05-48  
atf@bntu.by

### Address for correspondence

Kapskiy Denis V.  
Belarusian National Technical University  
12 Ya. Kolasa str.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 331-05-48  
atf@bntu.by

traffic flow parameters while using a two-fluid mathematical model of Herman – Prigogine has been developed and it is based on passive processing of navigation data for road transport facilities on highways and urban road and street networks. The main advantages and novelty of the method (in contrast with the traditional usage of a mathematical model of Herman – Prigogine on the basis of active processing of navigation data) are the following: a passive treatment of GPS-tracks and support of their formats that make it possible significantly improve quality and adequacy of the model results; cloud computing (usage of cloud storage for storing large bulk of data); presence of client mobile application for Android operating system which is used for data collection in addition to operation with already collected navigation data from navigation and information center and other sources; application for calculation and processing of modern web technologies; scalability and configurability of the system. Efficiency of the proposed algorithms, mathematical models for evaluation of transport flow parameters and system as a whole have been proved in the process of their approbation while using a set of tracks on main highways of Belarus.

**Keywords:** transport facility, navigation system, mathematical model for evaluation of transport flows

**For citation:** Kapskiy D. V., Kasyanik V. V., Evtuh A. V., Kaptsevich O. A. (2017) Evaluation of Transport Flow Efficiency on the Basis of Traffic Movement Data. *Science and Technique*. 16 (5), 444–454. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-444-454 (in Russian)

## Введение

В настоящее время в большинстве развитых стран мира актуальной проблемой в сфере транспорта является перегруженность дорожных сетей движением. Прежде всего эта проблема характерна для ключевых магистралей, по которым осуществляются значительные объемы грузовых и пассажирских перевозок, а также для улично-дорожных сетей городов, где сосредоточена большая часть парка личного автотранспорта. На сегодняшний день в мире накоплен значительный опыт реализации мероприятий, направленных на решение данной проблемы. Эти мероприятия подразделяются на три основные группы:

- меры, направленные на повышение максимальной пропускной способности дорожной сети (строительство и реконструкция дорожных объектов);
- меры, направленные на повышение эффективности использования пропускной способности существующей дорожной сети (совершенствование организации дорожного движения, включая применение автоматизированных систем управления дорожным движением);
- меры, направленные на регулирование объема и структуры транспортного спроса (введение различных ограничений на движение и парковку автотранспортных средств, снижение потребностей экономики и населения в перевозках за счет мероприятий в сфере территориального планирования и т. д.).

При этом методологической основой для разработки подобных мероприятий и принятия научно обоснованных решений для их реализа-

ции все в большей степени служит применение методов математического моделирования функционирования существующих и проектируемых транспортных систем, использование которых позволит:

- оценить эффективность планируемых мероприятий с использованием как эксплуатационных, так и экономических показателей;
- выявить возможные отрицательные последствия их внедрения;
- разработать научно обоснованную программу их реализации.

Прогнозирование эффекта от различных мер по управлению пропускной способностью дорожной сети требует решения различных задач транспортного моделирования:

- прогнозирование эффекта от строительства или реконструкции дорожных объектов требует моделирования распределения транспортного потока (ТП) на дорожной сети;
- оценка эффективности мер по совершенствованию организации дорожного движения, как правило, требует моделирования движения индивидуальных автомобилей в ТП;
- оценка эффективности мер по регулированию транспортного спроса требует моделирования объема и структуры потребности населения и экономики в поездках.

## Постановка задачи

Объектами исследования являлись транспортные потоки на магистралях Республики Беларусь, навигационная информация и другие источники информации, алгоритмы их обработки с целью получения оценок парамет-

ров ТП. Основные направления исследования – вопросы научно-методического и алгоритмического обеспечения процессов мониторинга параметров ТП на основе обработки данных о движении транспортных средств (ТС) для оценки параметров ТП с использованием навигационной информации. При этом выполнялись следующие задачи:

- разработка метода расчета основных параметров ТП с использованием двухжидкостной математической модели Германа – Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении ТС на магистралях и улично-дорожных сетях (УДС) с учетом особенностей их движения;

- разработка системы оценки параметров ТП, обеспечивающей сбор навигационных данных, хранение, верификацию данных треков, управление данными дорожных участков (улиц), расчет параметров ТП с использованием вышеуказанного метода и кластеризацию дорожных участков (улиц) по полученным параметрам.

#### Описание модели транспортного потока

С появлением современных технологий определения местоположения, таких как GPS и ГЛОНАСС, для решения задач оценки параметров ТП на магистралях и УДС началось более активное применение двухжидкостной модели ТП Германа – Пригожина [1]. В качестве основных характеристик ТП для расчетов с использованием этой модели рассматривали: интенсивность, объем движения, среднюю скорость движения, время сообщения, коэффициент загрузки движением. С помощью данной модели определяли нелинейные зависимости между удельным временем в пути, затрачиваемым на единицу расстояния, и удельным временем задержек на единицу расстояния.

Модель Германа – Пригожина очень привлекательна для практического использования, поскольку она по сравнению с другими моделями легко применима при проведении регулярных обследований условий дорожного движения и целесообразность ее применения была обоснована в ранее проведенных научных исследованиях по данной тематике [2]. Важное свойство кинетической теории описания ТП, предложенное Р. Германом и И. Пригожиным, заключается в том, что могут быть рассмотрены и отображены два различных режима движения [3]. Это индивидуальный и коллектив-

ный потоки, которые функционально зависят от концентрации ТС (плотности потока). При незначительной плотности потока движение осуществляется в режиме индивидуального потока. При повышении плотности потока движение переходит в состояние коллективного потока. В данном случае поток становится в значительной мере независимым от желаний индивидуальных водителей в выборе режима движения.

На основании того, что кинетическая теория изучает многополосное движение (более присущее городскому движению), Р. Германом и И. Пригожиным была выдвинута теория двух потоков движения как характеристик движения коллективного потока по дорожной сети. При этом ТС в составе потока движения разделены на две группы – движущиеся и остановившиеся ТС. Последние включают ТС, остановившиеся в самом потоке, т. е. остановившиеся на перекрестках, остановившиеся из-за помех движению (например, по причине загрузки или разгрузки ТС, которые блокируют полосу движения), остановившиеся по причине обычного затора движения и т. д., но исключают находящиеся вне движения средства (например, припаркованные автомобили).

Модель двух потоков представляет макроскопическое измерение качества функционирования дорожной сети. Модель базируется на исходных предположениях:

- средняя скорость движения по дорожной сети пропорциональна доле ТС, находящихся в движении;

- длительность задержек ТС, двигающегося по дорожной сети, пропорциональна количеству ТС, остановившихся в данный момент времени.

Параметры, используемые в модели Германа – Пригожина, состоящей из двух потоков (движущиеся и стоящие ТС), представляют средние данные, определенные в масштабе всей дорожной сети за этот период времени. Уникальность модели состоит в том, что при оценке влияния уровня загрузки дорожной сети на условия движения не требуется определять уровень загрузки, т. е. интенсивность ТП и пропускную способность элементов дорожной сети. Для оценки параметров  $n$  и  $T_m$  необходимы лишь данные об удельных показателях времени поездки  $T$  и времени простоя  $T_s$ .

На практике используется логарифмическое представление модели в следующем виде:

$$\ln T_r = \frac{1}{n+1} \ln T_m + \frac{n}{n+1} \ln T, \quad (1)$$

что обеспечивает возможность применения линейной регрессии для получения зависимости между параметрами  $n$  и  $T_m$ .

С целью использования линейной регрессии выражение (1) преобразуют к виду

$$\ln T_r = \ln T_m + n(\ln T - \ln T).$$

Уравнение линейной зависимости упрощает саму процедуру регрессионного анализа и позволяет пользоваться стандартными статистическими методами оценки параметров ТП. Исследования подтвердили положения теории двух потоков [4, 5]. Одновременно было установлено, что дорожные сети могут быть охарактеризованы двумя параметрами модели:  $n$  и  $T_m$ . Это подтверждается вычислениями на основе экспериментальных данных, полученных по результатам обследований дорожных сетей крупнейших городов мира.

Модель Германа – Пригожина может применяться:

- для сравнения дорожных сетей между собой или участков в пределах одной дорожной сети;
- для сравнения особенностей поведения водителей и движения отдельных типов ТС;
- для детальной оценки влияния геометрических и других параметров дорожной сети на условия дорожного движения;
- в моделировании транспортных потоков с целью оценки прогнозируемых условий движения.

Классификация дорожных сетей на основе параметров, входящих в состав модели Германа – Пригожина, позволяет прогнозировать скорости сообщения и затраты времени на передвижение на любом заданном участке дорожной сети. Классификация может быть построена, например, с применением кластерного анализа экспериментально установленных значений параметров  $T$ ,  $T_r$  и  $T_s$  [6].

По степени влияния уровня загрузки дорожным движением на темп движения  $T$  дорожные сети классифицируются следующим образом:

- не реагирующие на увеличение загрузки (1, 2 классы),  $n = 0$ ;
- имеющие слабую реакцию (5-й класс),  $n = 1,22$ ;
- имеющие умеренную реакцию (6-, 8-, 9-й классы),  $n = 2,50-2,90$ ;
- имеющие сильную реакцию (3-, 7-й классы),  $n = 3,70-4,90$ ;
- имеющие максимальную реакцию (4-, 10-й классы),  $n = 5,40-7,01$ .

Полученные классы или аналогичные могут использоваться:

- для детальной оценки условий движения и качества организации движения с использованием навигационного оборудования автомобилей (систем GPS и ГЛОНАСС);
- для верификации результатов микро- и макро моделирования транспортных потоков.

### Реализация системы оценки параметров транспортных потоков

Данные об удельных показателях времени поездки  $T$  и времени простоя  $T_s$ , рассмотренных в [6, 7], собирают активным способом, используя специальным образом оборудованный автомобиль для проезда по исследуемым участкам УДС. В авторской работе разработана и применена для исследований пассивная система, в которой удельные показатели рассчитываются на основе навигационных данных, собранных с различных транспортных средств, участвующих в дорожном движении. Такие данные могут быть получены из различных источников, например с серверов транспортных компаний. Для анализа нет необходимости раскрывать личные данные участников движения, а лишь параметры их перемещения по УДС. Использование пассивного подхода к сбору данных позволяет увеличить точность системы, так как может быть исследовано большое количество данных, которые собраны с различных транспортных средств, управляемых разными водителями.

На базе двухжидкостной модели Германа – Пригожина реализована программная система, позволяющая производить количественную оценку параметров дорожного движения с использованием навигационных данных, а также их визуализацию с помощью геоинформационной системы Google Maps [1, 3, 7]. Программный комплекс, предлагаемый для решения поставленных задач, реализован на базе клиент-серверной архитектуры (рис. 1, 2).

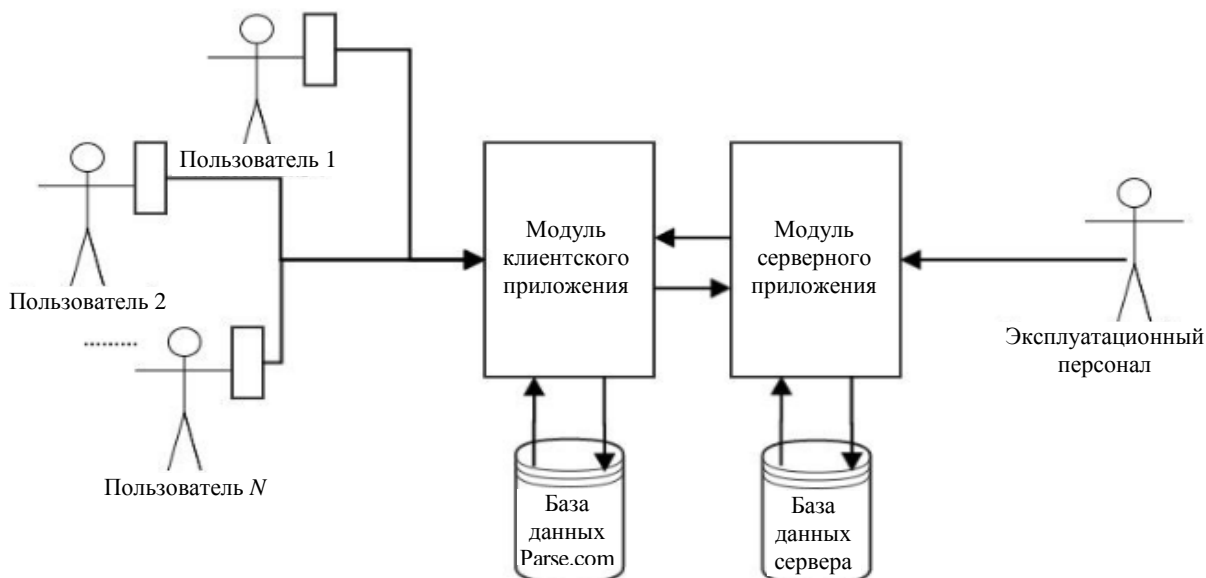


Рис. 1. Архитектура системы оценки параметров транспортных потоков

Fig. 1. Architecture of evaluation system for parameters of transport flows

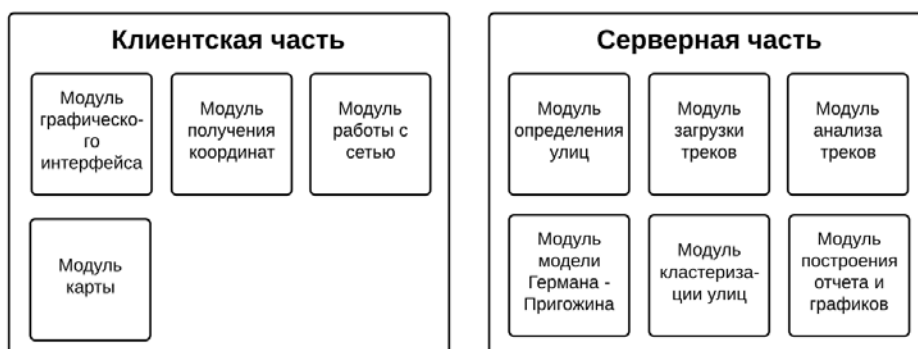


Рис. 2. Состав системы оценки параметров транспортных потоков

Fig. 2. System composition for evaluation of transport flows parameters

Клиентская часть реализована и представлена двумя типами устройств – встроенным навигационным модулем в составе ТС или мобильным приложением на базе ОС Android. Визуальная часть разработана в соответствии с требованиями Google [8] для интерфейса Android-приложений. При получении физического адреса текущего местоположения использовали стандартный Geocoder [9]. Данные пользователя отправляются на облачный сервер Parse.com для последующего хранения и экспорта в нужном формате. При работе с данными для Parse.com была использована библиотека Parse.com [10]. Серверная часть реализована в виде веб-приложения, которое предназначено для решения следующих задач:

- загрузки навигационных треков из файла; при этом могут использоваться как собственные треки в формате JSON [11], полученные с помощью клиентского приложения, так и треки сторонних организаций в формате CSV;
- обработки треков с использованием модели Германа – Пригожина;
- визуализации полученных результатов с наложением на картографический сервис Google Maps [11];
- кластеризации участков дорожной сети с использованием параметров модели Германа – Пригожина [12].

Для отображения в Web использован веб-фреймворк Flask [13]. В качестве картографической основы применяли сервис Google

Map v3 [14], для манипуляции с картой (построение точек, маршрутов) – язык программирования JavaScript [15]. Для работы с базой данных использовали SQLAlchemy ORM [16], в качестве системы управления базами данных применяли SQLite [17].

По окончании анализа треков и расчета параметров с использованием модели Германа – Пригожина строили отчет, который представлял собой файл в текстовом формате. Техническое обеспечение программного комплекса оценки параметров ТП включает в себя:

- мобильное устройство для сбора информации о движении – навигационный модуль в составе ТС или мобильное устройство с GPS-приемником (операционная система Android версии 4.0 и выше) с активированной функцией передачи данных;

- SDK Parse.com [10] для ОС Android – библиотеку, которая упрощает работу с платформой Parse.com на мобильном устройстве;

- программные продукты транспортных компаний, предоставляющие навигационные данные в формате CSV;

- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, включающее персональный компьютер под управлением операционной системы семейства Linux. При разработке АРМ использовали виртуальное окружение (virtual env), а также веб-фреймворк Flask [13], веб-приложение разработано с помощью языка программирования Python [18];

- облачный сервис Parse.com [10] для хранения передаваемых данных от клиентов.

#### Апробация программного комплекса оценки параметров транспортных потоков с использованием экспериментальных данных

Для проверки функционирования работы модели Германа – Пригожина [19] в составе программного комплекса оценки параметров ТП использованы маршруты, полученные от одной из транспортных компаний Республики Беларусь, объемом 5000000 записей. Пример статистики движения автомобилей по участку УДС приведен на рис. 3. По оси  $X$  расположены номера навигационных треков, а по  $Y$  отложены общее время измерения и время в движении ТС. На основе этих данных рассчитывали необходимые для модели удельные показатели

времени поездки и времени простоя для выбранного участка УДС.

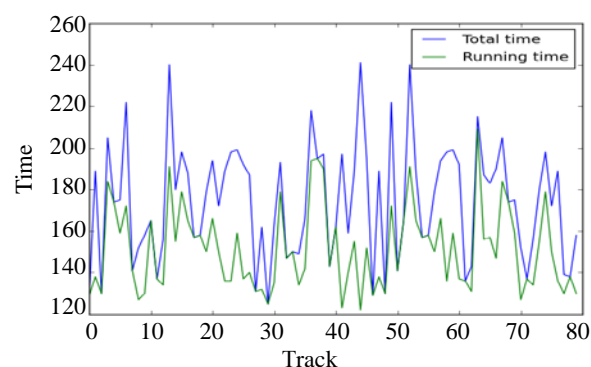


Рис. 3. Отображение параметров треков автомобилей

Fig. 3. Display of vehicle track parameters

Получив результаты по расчетам параметров модели Германа – Пригожина для конкретных улиц г. Минска, на график наносили точки минимального среднего удельного времени поездки и индикатора  $n$  Германа – Пригожина для этих улиц (рис. 4). Как видно, точки расположены неравномерно, образуя кластеры улиц по качеству организации дорожного движения. Для поиска и явного выделения этих кластеров необходимо применить методы машинного обучения для кластеризации данных, так как исходное число классов улиц визуально определить сложно.

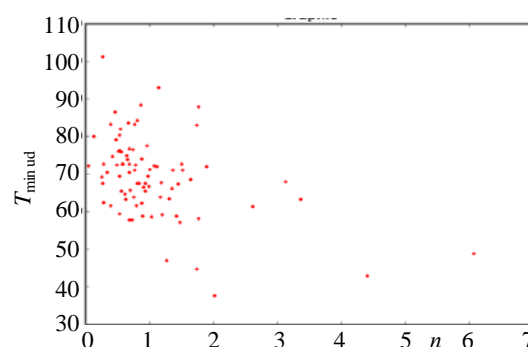


Рис. 4. Визуализация результатов расчета по модели Германа – Пригожина

Fig. 4. Visualisation of calculation results according to Herman – Prigogine model

Для кластеризации этого набора данных выбран алгоритм FOREL, так как он требует указать лишь первоначальный размер предполагаемых кластеров. В результате работы алгоритма на выходе генерируется список точек, распределенных по классам-кластерам. Полу-

ченные кластеры с радиусом 7 единиц приведены на рис. 5. Радиус в 7 единиц выбран экспериментально для получения устойчивого распределения кластеров.

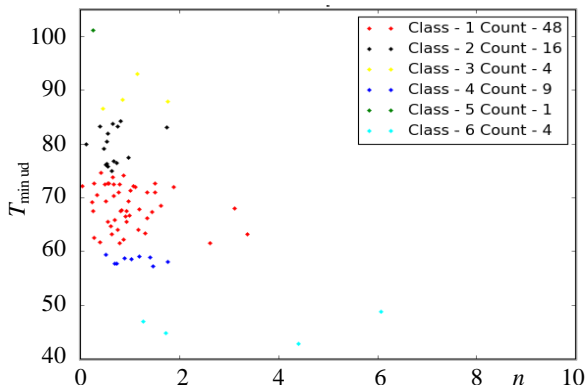


Рис. 5. Кластеризация маршрутов с радиусом 7 единиц  
Fig. 5. Clusterization of routes with radius of 7 units

На рис. 5 видно, что в итоге улицы были разбиты на шесть кластеров, каждая группа – с различным количеством улиц. Параметры каждого кластера приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики кластеров  
Clusters characteristics

Номер кластера	Количество улиц	Диапазон n	Диапазон T	Краткая характеристика
1	48	[0,04; 3,36]	[61,51; 74,70]	Умеренная реакция на увеличение загрузки улицы
2	16	[0,12; 1,74]	[74,91; 84,30]	Слабая реакция на увеличение загрузки
3	4	[0,45; 1,76]	[86,60; 93,09]	
4	9	[0,52; 1,76]	[57,21; 59,39]	
5	4	[1,26; 6,07]	[42,86; 48,76]	Максимальная реакция на увеличение загрузки
6	1	[0,26; 0,26]	[101,17; 101,17]	Не реагирует на увеличение загрузки

Для каждого кластера дана краткая характеристика дорожных условий, определенная на основании анализа показателей для других городов. Сравнения данные различных городов, можно сделать вывод о характеристиках организации дорожного движения в г. Минске. Так была определена степень влияния нагрузки транспортного потока на качество обслужива-

ния, результаты которой приведены в графе «Краткая характеристика» табл. 1. Кроме того, полученная кластеризация маршрутов применена для отображения маршрутов на карте в различной цветовой дифференциации в зависимости от класса маршрута. Это позволяет визуально выделить участки дорог с различными дорожными условиями. Результаты визуализации приведены на рис. 6.

При нажатии на маршрут (начало или конец маршрута) есть возможность получить информацию о данном маршруте вместе с графиком в движении и остановках авто. Эта возможность продемонстрирована на рис. 7, на котором представлены значения общего времени поездки и времени в движении для каждого номера трека. Синим цветом изображено общее время движения каждого участника, зеленым – время в движении (без времени стояния). Таким образом, визуально можно определить адекватность треков по разрывам между общим временем и временем в движении.

В результате тестирования подсистемы кластеризации получена классификация улиц г. Минска по качеству организации дорожного движения, определены проблемные улицы и визуализированы результаты. Для тестирования данного функционала разработанной системы был выбран участок магистрали М1 от Кобрина до Дзержинска (рис. 8). Отчет по результатам расчета параметров ТП с использованием модели Германа – Пригожина для этого участка транспортной магистрали представлен на рис. 9.

Как видно из отчета на рис. 9, участок трассы имеет длину 246 км, средняя скорость транспортных средств на участке составляет 81 км/ч, качество обслуживания равно 4,61, что соответствует максимальной реакции на увеличение загрузки транспортной магистрали на основании ранее приведенной классификации. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что на данном участке магистрали при увеличении нагрузки средняя скорость движения будет сильно уменьшаться, а время проезда может существенно увеличиваться. Таким образом, учитывая исключительную важность магистрали М1, при организации дорожного движения необходимо прорабатывать варианты совершенствования инфраструктуры магистрали с целью уменьшения влияния нагрузки на характеристики и качество транспортного сообщения.

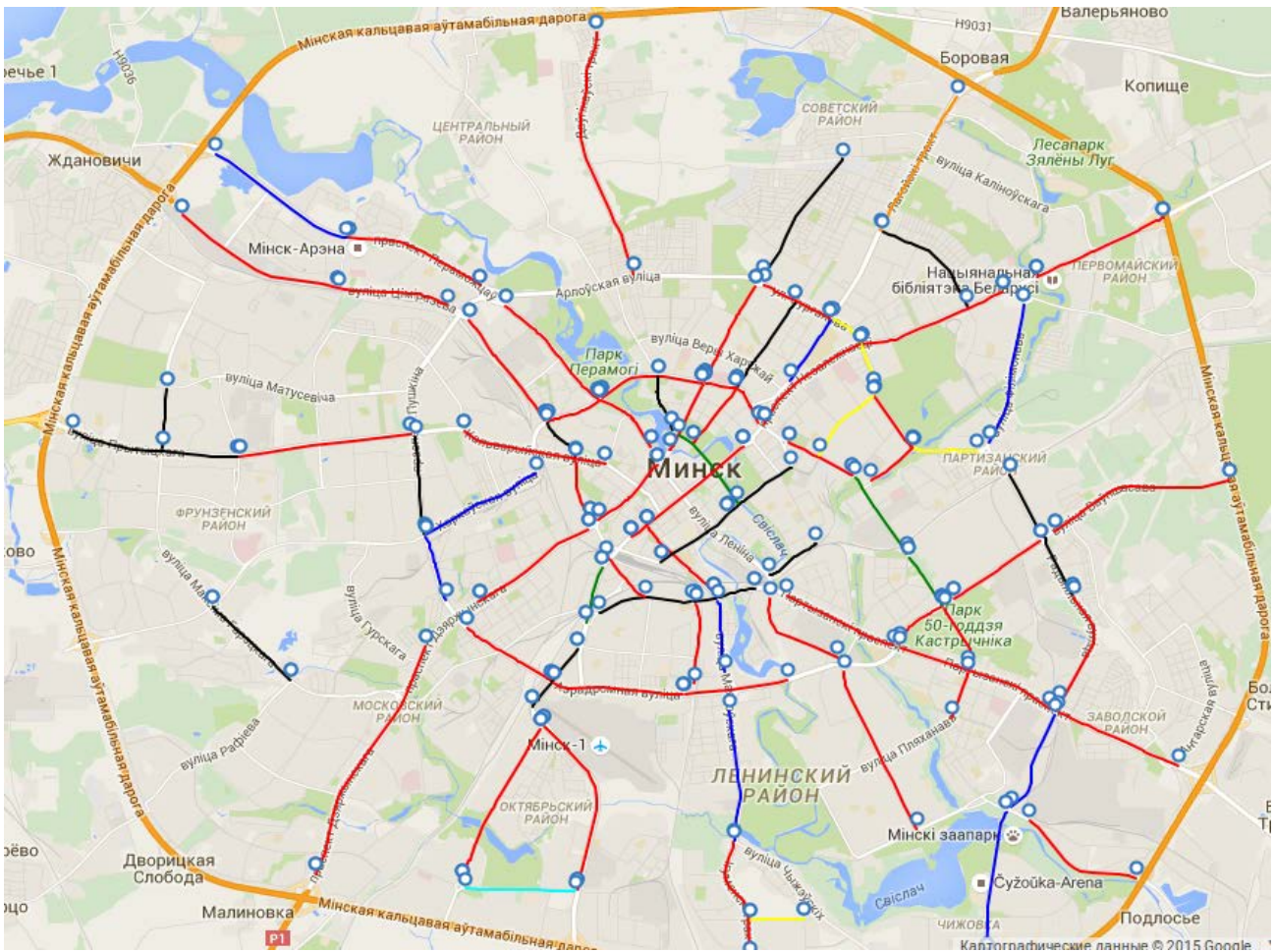


Рис. 6. Визуализация маршрутов по классам (выделены цветом)

Fig. 6. Visualization of routes on classes (the classes are highlighted)

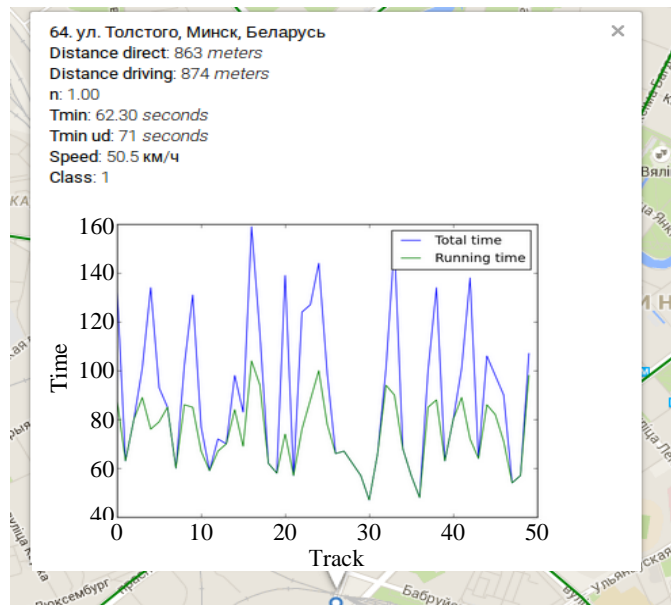


Рис. 7. Краткая информация о маршруте

Fig. 7. Brief information on route



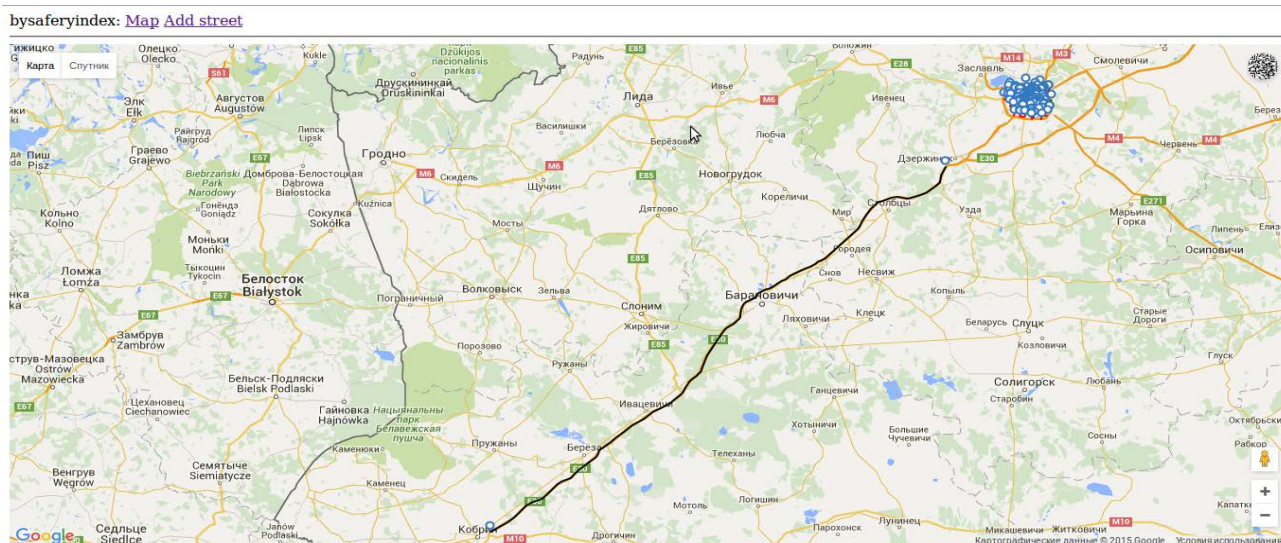


Рис. 8. Участок международной магистрали М1

Fig. 8. Section of international highway M1

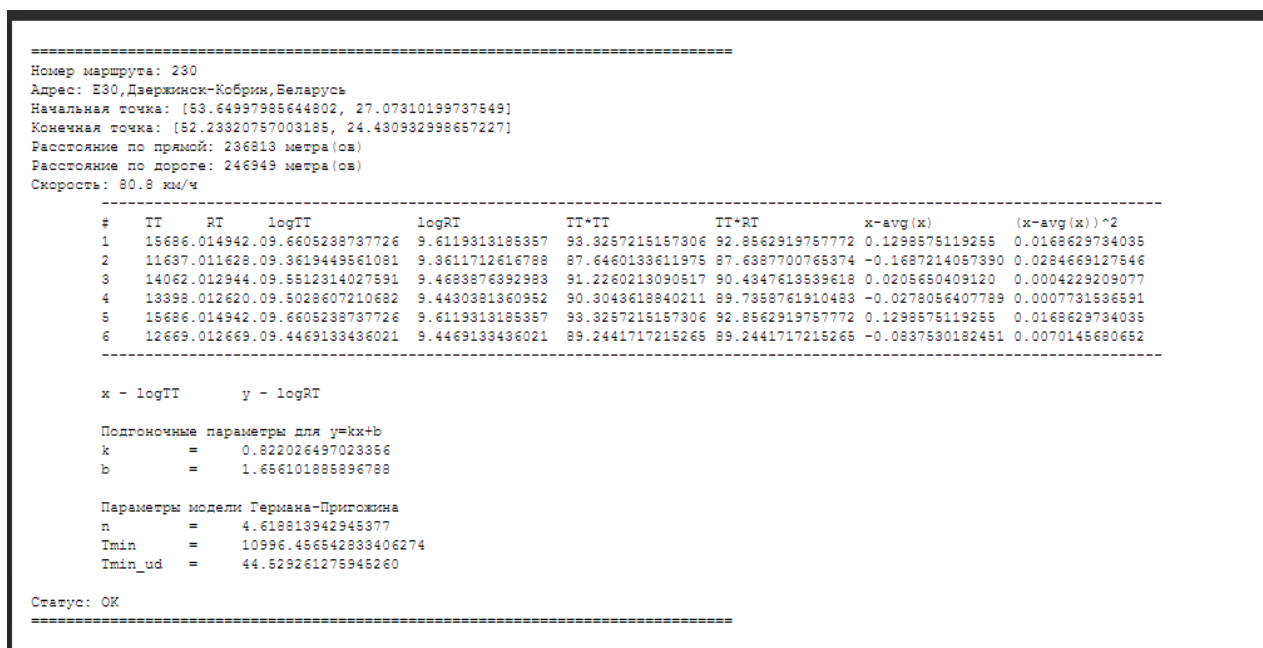


Рис. 9. Отчет по результатам расчета параметров Германа – Пригожина для участка магистрали М1

Fig. 9. Report on results of Herman – Prigogine parameter calculation for M1-highway section

### ВЫВОДЫ

1. Разработан метод оценки основных параметров транспортных потоков с использованием двухжидкостной математической модели Германа – Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении транспортных средств на транспортных магистралях и улично-дорожных сетях городов.

Основными достоинствами и новизной разработанной системы являются:

- облачная обработка данных (использование для хранения больших объемов данных облачного хранилища);
- наличие клиентского мобильного приложения для ОС Android для сбора данных в дополнение к возможности работы с уже собранными навигационными данными от нави-

гационно-информационного центра и других источников;

- поддержка форматов современных GPS-трекеров;
- использование для расчетов и обработки данных современных веб-технологий.
- масштабируемость и настраиваемость системы.

2. Создана система оценки параметров транспортных потоков, включающая модули сбора навигационных данных, хранения, верификации данных треков, управления данными дорожных участков (улиц), подсистемы расчета параметров транспортных потоков с использованием математической модели Германа – Пригожина и кластеризации дорожных участков (улиц) по полученным параметрам.

3. Работоспособность предложенных алгоритмов, математических моделей оценки параметров транспортных потоков и системы в целом подтверждена в ходе ее апробации с использованием набора треков на основных магистралях Беларуси. Так, для одной из важнейших магистралей трассы М1 Брест – граница Российской Федерации получены параметры скорости 81 км/ч и качества обслуживания 4,61. Эти результаты говорят о том, что трасса уже сейчас работает на границе своих возможностей. Аналогичные расчеты выполнены для г. Минска, где также выявлены проблемы – 46 основных улиц функционируют на пределе своих возможностей.

4. Результаты оценки параметров транспортных потоков могут применяться с целью повышения эффективности и качества деятельности государственных органов, служб и компаний в сфере транспорта для поддержки принятия решений по учету и перераспределению транспортных потоков в пределах транспортных магистралей и улично-дорожных сетей, по анализу транспортной нагрузки, оптимальной организации дорожного движения, а также при модернизации существующих и проектировании новых дорожных сетей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Prigogine, I. Kinetic Theory of Vehicular Traffic / I. Prigogine, R. Herman. N.Y.: Elsevier, 1971.
2. Разработка системы оценки параметров транспортных потоков в рамках транзитных транспортных коридоров на территориях государств – участников СНГ на основе обработки навигационных данных о движении транспортных средств: отчет о НИР «Поток-СНГ-РБ» / ОАО «Агат – системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления», науч. рук. О. А. Капцевич. Минск, 2015. 319 с.
3. Herman, R. A Two-Fluid Approach to Town Traffic / R. Herman, I. Prigogine // Science. 1979. Vol. 204, No 4839. P. 148–151. DOI:10.1126/science.204.4389.148.
4. Nelson, P. The Prigogine – Herman Kineticmodel Predicts Widely Scatteredtraffic Flow Data at Highconcentrations / P. Nelson, A. Sopasakis // Transportation Res. 1998. Part B: Methodological. Vol. 32, No 8. P. 589–604. DOI: 10.1016/s0191-2615(98)00020-4.
5. Studying the EBB and Flow of Stop-and-Go; Los Alamos Lab Using Cold War Tools to Scrutinize Traffic Patterns Alan Sipress Washington Post Staff Writer, Thursday, August 5, 1999, Last updated 1/31/00.
6. Румянцев, Е. А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети / Е. А. Румянцев // Вестник Иркутск. гос. техн. ун-та. 2012. № 9. С. 148–151.
7. Блинкин, М. Я. Системная оценка условий движения на базе модели Германа – Пригожина (Ч. 1) / М. Я. Блинкин (НИИТДХ), Б. А. Ткаченко (ЦИТИ) // Сайт «Транспортные системы городов и зон их влияния» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://waksman.ru/Russian/Org&B/2008/blinkin1.htm>.
8. Material Design // Сайт Google Design Guidelines [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>.
9. Directions Service // Сайт Google Developers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/directions>.
10. Parse Android Developers Guide // Сайт Parse [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://parse.com/docs/android/guide>.
11. Google Maps Javascript API // Сайт Google Developers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/event-simple>.
12. Алгоритмы семейства FOREL // Сайт «Википедия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритмы\\_семейства\\_FOREL](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритмы_семейства_FOREL).
13. Flask // Сайт Flask (A Python Microframework) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://flask.pocoo.org>.
14. Location and Sensors APIs // Сайт Android developers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://developer.android.com/guide/topics/sensors/index.html>.
15. jQuery API Documentation // Сайт jQuery [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://api.jquery.com/>.
16. The Python SQL Toolkit and Object Relational Mapper. *SQLAlchemy*. Available at: <http://www.sqlalchemy.org>.
17. SQLite Documentation // Сайт SQLite [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sqlite.org/docs.html>.
18. Лутц, М. Изучаем Python, 4-е издание / М. Лутц. М.: Изд-во «Символ плюс», 2010. 1280 с.

19. Ardekani, S. A. Urban Network-Wide Variables and their Relations / S. A. Ardekani, R. Herman // *Transportation Science*. 1987. Vol. 21, No 1. P. 1–16. DOI: 10.1287/trsc.21.1.1

Поступила 07.07.2016

Подписана в печать 12.09.2016

Опубликована онлайн 29.09.2017

#### REFERENCES

1. Prigogine I., Herman R. (1971) *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*. N.Y.: Elsevier.
2. Kaptsevich O. A. (Research Supervisor) (2015) *Development of System for Evaluation of Transport Flow Parameters within the Framework of Transit Transport Corridors on the Territory of CIS Countries Based on Processing of Navigation Data on Movement of Transport Facilities*. Research report “CIS-Republic of Belarus Flow”. Minsk. 319 (in Russian, unpublished).
3. Herman R., Prigogine I. (1979) A Two-Fluid Approach to Town Traffic. *Science*, 204 (4389), 148–151. DOI: 10.1126/science.204.4389.148.
4. Nelson P., Sopasakis A. (1998) The Prigogine – Herman Kineticmodel Predicts Widely Scatteredtraffic Flow Data at Highconcentrations. *Transportation Research. Part B: Methodological*, 32 (8), 589–604. DOI: 10.1016/s0191-2615(98)00020-4.
5. Sipress A. (1999) Studying the EBB and Flow of Stop-and-Go; Los Alamos Lab Using Cold War Tools to Scrutinize Traffic Patterns. *Washington Post*. August, 5.
6. Rumiantsev E. A. (2012) Improvement of Methods for Evaluation of Transport Flow Movement Conditions in Urban Street-Road Network. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, (9), 148–151.
7. Blinkin M. Ya., Tkachenko B. A. *Systematic Evaluation of Movement Conditions on the Basis of the Prigogine – Herman Model (Part 1)*. Available at: <http://waksman.ru/Russian/Org&B/2008/blinkin1.htm>.
8. Material Design. Available at: <https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>.
9. Directions Service. Available at: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/directions>.
10. Parse Android Developers Guide. Available at: [https:// parse.com/docs/android/guide](https://parse.com/docs/android/guide).
11. Google Maps Javascript API. Available at: [https://develo pers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/event-simple](https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/event-simple).
12. FOREL Family Algorithms. *Wikipedia*. Available at [https://ru.wikipedia.org/wiki/Algorithms\\_family\\_FOREL](https://ru.wikipedia.org/wiki/Algorithms_family_FOREL).
13. *Flask*. Available at: <http://flask.pocoo.org>.
14. Location and Sensors APIs. *Android Developers*. Available at: <http://developer.android.com/guide/topics/sensors/index.html>.
15. *jQuery API Documentation*. Available at: <http://api.jquery.com>.
16. The Python SQL Toolkit and Object Relational Mapper. *SQLAlchemy*. Available at: <http://www.sqlalchemy.org>.
17. *SQLite Documentation*. Available at: <https://www.sqlite.org/docs.html>.
18. Luts M. (2010) *We Study Python*, 4<sup>th</sup> ed. Moscow, Simvol Plyus Publ. 1280 (in Russian).
19. Ardekani S. A., Herman R. (1987). Urban Network-Wide Variables and their Relations. *Transportation Science*, 21 (1), 1–16. DOI: 10.1287/trsc.21.1.1.

Received: 07.07.2016

Accepted: 12.09.2016

Published online: 29.09.2017