

Дальнейшее развитие системы требует исследований в области повышения производительности подсистем обработки и хранения данных. Рост количества данных о треках положительно сказывается на увеличении статистической достоверности полученных данных, поэтому необходимо улучшить производительность увеличения объема обработанных данных.

УДК 656.02:519.25

**СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ
О ДВИЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**THE SYSTEM ESTIMATES PARAMETERS OF TRANSPORT
STREAMS BASED ON THE PROCESSING OF NAVIGATION DATA
ON THE MOVEMENT OF VEHICLES**

Капский Д.В., доктор технических наук, доцент, Заведующий Научно-исследовательским центром дорожного движения; **Гамульский И.К.**,
Горелик Е.Н., **Ермакова Н.С.**, **Киселевич Н.В.**, **Коржова А.В.**,
Красильникова А.С., **Кузьменко В.Н.**, **Мозалевский Д.В.**

(Белорусский национальный технический университет (БНТУ),
филиал БНТУ «Научно-исследовательская часть»);

Капцевич О.А., кандидат технических наук (ОАО «Агат – системы
управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные
системы управления»); **Касьяник В.В.**, старший преподаватель,

Евтух А.В., магистрант

(Брестский государственный технический университет)

Kapiski D.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the
Research Centre for road Traffic; **Hamulski I.K.**, **Gorelik E.N.**, **Ermakova N.S.**,

Kiselevich N.V., **Korzova A.V.**, **Krasil'nikova A.S.**, **Kuzmenko V.N.**,
Mozalevski D.V. (Belarusian National Technical University (BNTU),
Branch of BNTU «Research Department»);

Kaptsевич O.A., OJSC «AGAT – Control Systems» – managing company
«Geographic Information Management System»

Kasyanik V.V., Senior Lecturer, **Evtukh A.V.**, Undergraduate
(Brest State Technical University)

Аннотация. В статье рассмотрены метод оценки параметров транспортных потоков с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина и разработанная на основе предложенного метода система оценки параметров на основе пассивной обработки навигационных данных о движении транспортных средств.

Abstract. *The article describes the method of estimating the parameters of transport streams using the two-fluid mathematical model of German-Prigogine and developed based on the proposed method of estimating the parameters of the system on the basis of passive processing of navigation data on the movement of vehicles.*

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

- оценить эффективность планируемых мероприятий, как с использованием 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 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 являются транспортные потоки (ТП) на магистралях Республики Беларусь, навигационная информация и другие источники информации, алгоритмы их обработки с целью получения оценок параметров ТП.

Основными направлениями исследования являются 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.

Основными задачами при этом являются:

- 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, управления данными дорожных участков (улиц), расчет параметров ТП с использованием вышеуказанного метода и кластеризацию дорожных участков (улиц) по полученным параметрам.

Описание модели транспортного потока

Одной из наиболее популярных моделей, применяемых для решения задач оценки параметров ТП на магистралях и УДС, является двухжидкостная модель ТП Германа-Пригожина [4].

В качестве основных характеристик ТП для расчетов с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина рассматриваются: интенсивность, объем движения, средняя скорость движения, время сообщения, коэффициент загрузки движением.

С использованием данной модели определяются 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 [6].

Предлагаемая модель Германа-Пригожина позволяет осуществлять интегральную оценку качества организации движения с использованием данных, поступающих от навигационного оборудования.

Важное свойство кинетической теории описания ТП Р. Германом и И. Пригожиным заключается в том, что могут быть рассмотрены и отображены два различных режима движения [2]. Это индивидуальный и коллективный потоки, которые функционально зависимы 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 характеристики 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 двух 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 данный период времени.

Рассмотрим более подробно эти параметры.

В соответствии с приведенными выше положениями ТП в любой момент времени состоит из двух частей:

f_r – двигающихся ТС;

f_s – стоящих ТС (очереди на подходах к перекресткам, транспортные заторы).

При этом соблюдается условие $f_r + f_s = 1$, а сама доля стоящих ТС f_s определяется отношением

$$f_s = \frac{1}{T_s}, \quad (1)$$

где T_s – удельные затраты времени, вызванные задержками (на перекрестках, в транспортных заторах и т.д.), мин/км.

Средние удельные затраты времени (или темп движения) T , (мин/км) являются суммой среднего удельного времени движения T_r (мин/км) и удельного времени задержек T_s (мин/км):

$$T = T_r + T_s. \quad (2)$$

Средняя скорость двигающихся ТС V_r определяется как произведение:

$$V_r = V_m \cdot f_r^n, \quad (3)$$

где V_m – средняя максимальная скорость движения на дорожной сети или на рассматриваемом ее участке;

n – показатель, характеризующий качество функционирования дорожной сети или ее рассматриваемого участка, указывающий, как по мере роста загрузки сети падает скорость движения.

С учетом задержек средняя скорость движения по дорожной сети или ее рассматриваемому участку V рассчитывается как:

$$V = V_m \cdot f_r^{n+1} \quad (4)$$

Учитывая балансовое равенство $f_r + f_s = 1$, уравнение (4) может быть представлено в виде

$$V = V_m \cdot f_r^{n+1} = V_m \cdot (1 - f_s)^{n+1} \quad (5)$$

при этом граничные условия модели (5):

если $f_s = 0$, то $V = V_m$,

если $f_s = 1$, то $V = 0$.

Принимая время поездки в расчете на единицу длины T , время в движении в расчете на единицу длины T_r и среднее время задержек при проезде участка единичной длины T_s , получаем соотношения:

$$T = \frac{1}{V} \quad \text{и} \quad T_m = \frac{1}{V_m},$$

где V – средняя скорость движения по дорожной сети с учетом задержек;

T_m – среднее минимальное время проезда участка единичной длины.

Параметр T_m характеризует минимальные удельные затраты времени на движение в свободных условиях, т.е. при очень низком уровне загрузки сети, при котором отсутствует взаимодействие между ТС в потоке.

Это позволяет полагать, что T_m соответствует условиям свободного движения и отражает геометрические характеристики дорожной сети, линейную плотность размещения перекрёстков, пешеходных переходов, примыканий и т.д.

В свою очередь, параметр n , получивший название критерия Германа-Пригожина, отражает влияние уровня загрузки на снижение скорости движения ТП. Его можно рассматривать как индикатор качества обслуживания ТП.

Второе исходное положение двухжидкостной модели заключается в том, что длительность задержек ТС, двигающегося по дорожной сети, пропорциональна количеству ТС, остановившихся в данный момент времени. В соответствии с этим второе предположение модели математически отображается как:

$$f_s = \frac{T_s}{T}, \quad (6)$$

Соотношение (6) показывает, что условия движения по дорожной сети могут быть оценены на основе фиксации характеристик движения любого ТС, которое находится на данной дорожной сети [1].

Уравнение (4) можно переформулировать для осуществления оценки условий поездки по удельным затратам времени следующим образом:

$$T = T_m (1 - f_s)^{-(n+1)},$$

$$T = T_m \left(1 - \frac{T_s}{T}\right)^{-(n+1)},$$

$$T_r = T_m^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot T^{\frac{1}{(n+1)}}.$$

В этом случае общая формула модели Германа-Пригожина получает следующий вид:

$$T_s = T - T_m^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot T^{\frac{1}{(n+1)}}. \quad (7)$$

Представленные выше модель и критерий Германа-Пригожина n позволяют получить системную оценку транспортной ситуации на дорожной сети в целом, т.е. возможность количественно измерять чувствительность условий движения к изменению загрузки дорожной сети.

Уникальность модели состоит в том, что при оценке влияния уровня загрузки дорожной сети на условия движения не требуется определять уровень загрузки, т.е. определять 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 .

Логарифмическое преобразование равенства (7) в следующий вид:

$$\ln T_r = \frac{1}{(n+1)} \cdot \ln T_m + \frac{n}{(n+1)} \cdot \ln T, \quad (8)$$

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

С целью использования линейной регрессии выражение (8) 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 [3, 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 сравнения 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 ТП 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 [7].

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 класс) – $n = 1,22$;
- имеющие умеренную реакцию (6, 8, 9 классы) – $n = 2,50–2,90$;
- имеющие сильную реакцию (3, 7 классы) – $n = 3,70–4,90$;
- имеющие максимальную реакцию (4, 10 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 ТП.

Реализация системы оценки параметров транспортных потоков

На базе двухжидкостной модели Германа-Пригожина реализована программная система, которая позволяет производить количественную оценку параметров дорожного движения с использованием навигационных данных, а также их визуализацию с использованием геоинформационной системы Google Maps [2, 4, 19].

Программный комплекс, предлагаемый для решения поставленных задач, реализован на базе клиент-серверной архитектуры (рисунки 1 и 2).

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 [14] для интерфейса Android приложений.

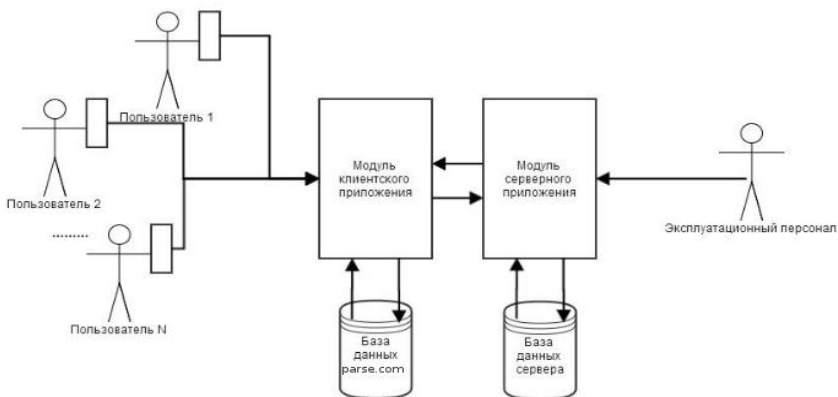


Рисунок 1 – Архитектура системы оценки параметров транспортных потоков

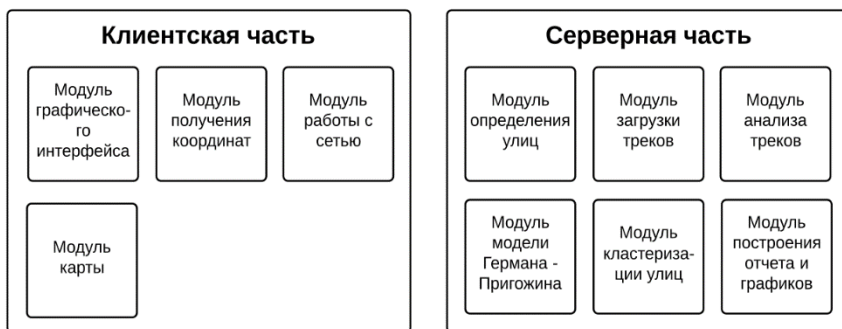


Рисунок 2 – Состав системы оценки параметров транспортных потоков

При получении физического адреса текущего местоположения был использован стандартный Geocoder [8].

Данные пользователя отправляются на облачный сервер Parse.com для последующего хранения и экспорта в нужном формате. Для работы с данными для Parse.com была использована библиотека Parse.com [11].

Серверная часть реализована в виде веб-приложения, которое предназначено для решения следующих задач:

1. Загрузка треков из файла. При этом могут использоваться как собственные треки в формате JSON [10], полученные с помощью клиентского приложения, так и треки сторонних организаций в формате CSV.
2. Обработка треков с использованием модели Германа-Пригожина.

3. Визуализация полученных результатов с наложением на картографический сервис Google Maps [10].

4. Кластеризация участков дорожной сети с использованием параметров модели Германа-Пригожина [17].

Для отображения в web был использован Фреймворк Flask [9]. В качестве картографической основы использовался сервис Google Map v3 [13]. Для манипуляции с картой: построения точек, маршрутов, был использован язык программирования JavaScript [12].

Для работы с базой данных использовалась ORM SQLAlchemy [15], в качестве СУБД был применен SQLite [16].

По окончании анализа треков и расчета параметров с использованием модели Германа-Пригожина строится отчет, который представляет 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 активной функцией передачи данных;

- SDK Parse.com [11] для ОС Android – библиотека, которая упрощает работу с платформой Parse.com на мобильном устройстве;

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

- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, включающее персональный компьютер под управлением операционной системы семейства Linux. При разработке АРМ использовались виртуальное окружение (virtual env), а также Фреймворк Flask [9], веб-приложение разработано использованием языка программирования Python [18].

- облачный сервис Parse.com [11] для хранения передаваемых данных от клиентов.

Апробация программного комплекса оценки параметров транспортных потоков с использованием экспериментальных данных

Для проверки функционирования работы модели Германа-Пригожина в составе программного комплекса оценки параметров ТП были использованы маршруты, созданные и добавленные по результатам работы модуля определения дорожных участков, а также набор треков, полученный по результатам работы модуля выделения треков, совпадающих с созданными маршрутами.

Для тестирования данного функционала разработанной системы был выбран участок магистрали М-1 от Кобриня до Дзержинска (рисунок 3).

bysaferyindex: [Map Add street](#)

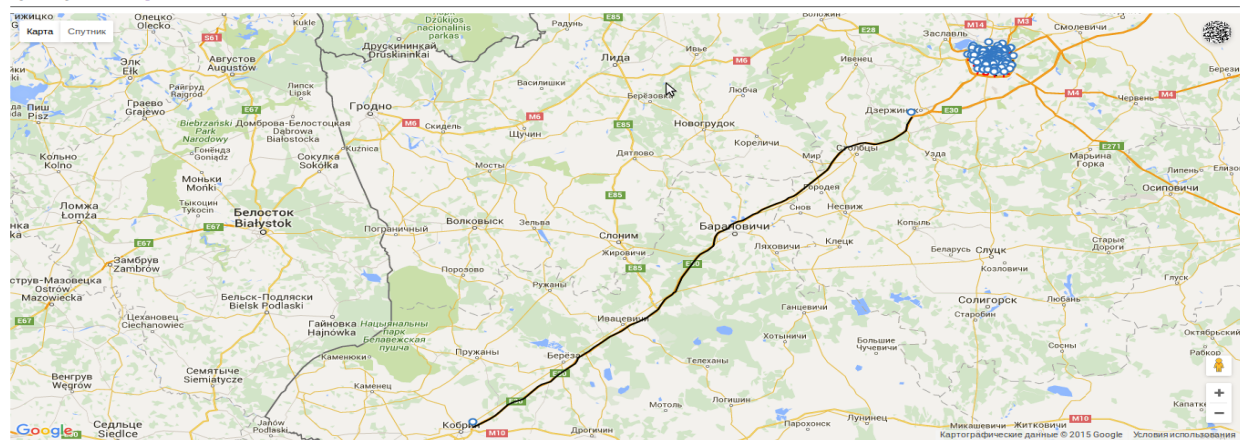


Рисунок 3 – Участок международной магистрали М-1 выбранный для анализа

Отчет по результатам расчета параметров ТП с использованием модели Германа-Пригожина для данного участка транспортной магистрали представлен на рисунке 4.

```

=====
Номер маршрута: 230
Адрес: Э30, Дзержинск-Кобрик, Беларусь
Начальная точка: {53.64997985644802, 27.07310199737549}
Конечная точка: {52.23920787003185, 24.430992399667227}
Расстояние по прямой: 236923 метра (см)
Расстояние по дороге: 246349 метра (см)
Скорость: 80.8 км/ч
=====
#   TT      RT      logTT      logRT      TT+TT      TT*RT      X=avg(x)      (X-avg(x))^2
1   15686.014942.09.4605238797726   9.6119313189387   99.3257215187306   92.8562919787772   0.1298878119265   0.0168629794038
2   11637.0116228.09.3819448661081   9.3621712618798   87.6460139611376   87.6397700765974   -0.1697214026793   0.0284669627546
3   14062.012944.09.5512314027591   9.4683876392983   91.2260213905017   90.4347613838618   0.0205650409120   0.0004229209077
4   13399.012620.09.502807210682   9.44303821360952   90.3049618940211   89.7389761910483   -0.0278056407789   0.0007731536691
5   15686.014942.09.4605238797726   9.6119313189387   99.3257215187306   92.8562919787772   0.1298878119265   0.0168629794038
6   12669.012669.09.4469193436021   9.4469193436021   89.2441717215265   89.2441717215265   -0.0897930182461   0.0070146890652
=====
X - logTT      Y - logRT
Подгоночные параметры для y=kx+b
k      = 0.322026497022956
b      = 1.656101888896788
Параметры модели Германа-Пригожина
n      = 4.618913942945377
Tmin   = 1.039645854229340274
Tmin_ud = 44.523261275946260
Ссылка: ОК
=====

```

Рисунок 4 – Отчет по результатам расчета параметров Германа-Пригожина

Как видно из данного отчета, участок трассы имеет длину 246 километров, средняя скорость ТС на данном участке составляет 81 км/ч. Качество обслуживания для данного участка 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 данной магистрали, при организации дорожного движения необходимо прорабатывать варианты совершенствования инфраструктуры магистрали с целью уменьшения влияния нагрузки на характеристики и качество транспортного сообщения.

Заключение

Разработан метод оценки основных параметров ТП с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении ТС на транспортных магистралях и УДС городов.

Основным достоинством и новизной разработанного метода (в отличие от традиционного использования математической модели Германа-Пригожина на основе активной обработки навигационных данных) является пассивная обработка GPS-треков, что позволяет существенно повысить качество и адекватность результатов модели.

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

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 навигационно-информационного центра и других источников;
- поддержка форматов современных GPS-трекеров;
- использование для расчетов и обработки данных современных веб-технологий;
- масштабируемость и настраиваемость системы.

Работоспособность предложенных алгоритмов, математических моделей оценки параметров ТП и системы в целом подтверждена в ходе ее апробации с использованием набора треков на основных магистралях Беларуси.

Полученные результаты оценки параметров ТП 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 ТП в пределах транспортных магистралей и УДС, анализу транспортной нагрузки, оптимальной организации дорожного движения, а также при модернизации существующих и проектировании новых дорожных сетей.

Литература

1. Ardekani, S.A. Urban Network-Wide Variables and Their Relations / S.A. Ardekani, R. Herman // *Transportation Science*. – 1987. – Vol. 21, No. 1.
2. Herman, R. A Two-Fluid Approach to Town Traffic / R. Herman, I. Prigogine // *Science*. – 1979. – Vol. 204. – P. 148–151.
3. Nelson, P. The Prigogine-Herman kinetic model predicts widely scattered traffic flow data at high concentrations / P. Nelson, A. Sopasakis // *Transportation Res.* – 1998. – Part B, 32. – P. 589–604.

4. Prigogine, I. Kinetic theory of vehicular traffic / I. Prigogine, R. Herman. – N.Y.: Elsevier, 1971.

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. 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», научн. рук. О.А. Капцевич. – Минск, 2015. – 319 с.

7. Румянцев, Е.А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети / Е.А. Румянцев // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – 2012. – № 9. – С. 148–151.

8. Directions Service // Сайт «Google Developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/directions>.

9. Flask // Сайт «Flask (A Python Microframework)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flask.pocoo.org/>

10. Google Maps Javascript API // Сайт «Google Developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/event-simple>.

11. Parse Android Developers Guide // Сайт «Parse» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://parse.com/docs/android/guide>.

12. jQuery API Documentation // Сайт «jQuery» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://api.jquery.com/>

13. Location and Sensors APIs // Сайт «Android developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://developer.android.com/guide/topics/sensors/index.html>.

14. Material design // Сайт «Google design guidelines» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>.

15. SQLAlchemy // Сайт «SQLAlchemy – The Database Toolkit for Python» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sqlalchemy.org/>

16. SQLite Documentation // Сайт «SQLite» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sqlite.org/docs.html>.

17. Алгоритмы семейства FOREL // Сайт «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритмы_семейства_FOREL.

18. Лутц, М. Изучаем Python / М. Лутц. – 4-е изд. – 2010. – 1280 с.

19. Блинкин, М.Я. Системная оценка условий движения на базе модели Германа-Пригожина (часть 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>.

УДК 656

ОБ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОПЛАТЫ ДОРОГ В ЕВРОПЕ И США

ABOUT SMART PAYMENT ROADS IN EUROPE AND THE US

**Гамульский И.К., Горелик Е.Н., Ермакова Н.С., Киселевич Н.В.,
Коржова А.В., Красильникова А.С., Кузьменко В.Н., Мозалевский Д.В.**

(Белорусский национальный технический университет (БНТУ),
филиал БНТУ «Научно-исследовательская часть»)

**Hamulski I.K., Gorelik E.N., Ermakova N.S., Kiselevich N.V., Korzova A.V.,
Krasil'nikova A.S., Kuzmenko V.N., Mozalevski D.V.**

(Belarusian National Technical University (BNTU), Branch of BNTU
«Research Department»)

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы систем взимания платы за проезд, которые применяются в различных странах с целью финансирования транспортной инфраструктуры для повышения безопасности дорожного движения.*

Abstract. *The article describes the uestions of charging systems for transportation, which are used in different countries in order to finance transport infrastructure to improve road safety.*

Большинство магистралей за рубежом являются платными. Высокая скорость (120 км/ч и выше), качественное покрытие, отсутствие помех для непрерывного движения являются преимуществами таких дорог. Принцип оплаты и проезда одинаков для всех стран, различаются только способы оплаты и контроля.

Способы оплаты дорог. Рассмотрим существующие способы оплаты дорог в странах Европы и США.

1. Оплата по факту проезда (рисунок 1). В ряде стран применяется сбор за проезд при непосредственном использовании магистрали, то есть оплата производится как при въезде, так и при съезде с платного участка дороги в зависимости от использованного расстояния. В случае оплаты при въезде оплачивается фиксированная стоимость до следующего пункта приема