

УДК 004.67

DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.756-761

ШАБЛОНЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Д.Е. Намиот¹, О.Н. Покусаев^{2,3}, В.П. Куприяновский^{2,1}¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия² Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия³ Российская академия транспорта, г. Москва, Россия

ON PATTERNS FOR THE USE OF RAILWAY STATIONS

Dmitry E. Namiot¹, Oleg N. Pokusaev^{2,3}, Vasily P. Kupriyanovsky^{2,1}¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia² Russian Transport University (MIIT), Moscow, Russia³ Russian Transport Academy, Moscow, Russia

© Намиот Д.Е., Покусаев О.Н., Куприяновский В.П., 2018

Ключевые слова

Умный город; мобильность;
городская железная дорога.

Аннотация

Транспорт (умный транспорт) есть одна из основных компонент Умного Города. Соответственно, анализу и планированию транспорта (транспортных потоков) в городах уделяется большое внимание. Естественно, что любой анализ должен основываться на каких-то собираемых (измеряемых) данных. В настоящей статье в качестве таких данных выступает информация об использовании пассажирами станций железной дороги. Это данные о валидации (проверке) проездных документов при входе на станцию и при выходе из нее. Для каждой станции данные включают время, характеристики проездного документа, также информацию о начальной и конечной станции поездки. Статья написана по результатам работы по проектированию новой системы городских железных дорог, при этом речь идет об анализе данных по использованию железнодорожных станций, как в черте города, так и в городской агломерации. В работе рассматриваются шаблоны (модели) использования железнодорожных станций. Понимание того, как используется станция пассажирами необходимо для оценки трафика (пассажиропотока) транспортной системы, что, в свою очередь, и является основной задачей на этапе проектирования. Другим важным моментом является то, что шаблоны использования отражают сложившееся состояние транспортной системы и городской среды. Соответственно, эти шаблоны (модели) могут быть использованы в городской аналитике и выступать в роли индикаторов и метрик изменений в городской среде.

Keywords

Smart City; mobility; urban
railway.

Abstract

Transport (smart transport) is one of the main components of the Smart City. Accordingly, much attention is paid to the analysis and planning of transport (traffic flows) in cities. Naturally, any analysis should be based on some collected (measured) data. In this article, information about the use of railway stations by passengers is used as such data. This is data on the validation (checking) of travel documents at the entrance to the station and at the exit from it. For each station, the data includes time, the characteristics of the travel document, as well as information on the starting and ending station of the trip. The article is based on the results of work on the design of a new system of urban railways, and this design involves analyzing data on the use of railway stations, both within the city and in the urban metropolitan area. In the paper, the patterns (models) of the use of railway stations are considered. An understanding of how a station is used by passengers is necessary to assess the traffic (passenger traffic) of the transport system, which in turn is the main task at the design stage. Another important point is that usage patterns reflect the current state of the transport system and the urban environment. Accordingly, these patterns (models) can be used in urban analytics and act as indicators and metrics of changes in the urban environment.

Об авторах:

Намиот Дмитрий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории открытых информационных технологий, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д.1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4463-1678>, dnamiot@gmail.com

Покусаев Олег Николаевич, кандидат экономических наук, директор Центра высокоскоростных транспортных систем, Российский университет транспорта (МИИТ) (127055, Россия, г. Москва, Минаевский пер., д. 2); главный исполнительный директор Российской академии транспорта (107078, Россия, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, блок 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6916-8897>, o.pokusaev@rut.digital

Куприяновский Василий Павлович, эксперт Центра высокоскоростных транспортных систем, Российский университет транспорта (МИИТ) (127055, Россия, г. Москва, Минаевский пер., д. 2); Научно-образовательный центр компетенций в области цифровой экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д.1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3493-8729>, vkupriyanovsky@rut.digital



Введение

Основное требование к умному транспорту в умном городе – это удобная возможность использования нескольких видов транспорта. Соответственно, в научной литературе такая характеристика транспортных услуг называется мультимодальностью. Интеллектуальная мобильность определяется как использование технологий и данных для создания связей между людьми, местами и товарами на всех режимах транспорта. Мобильность как сервис это новая концепция, которая предлагает потребителям доступ к различным типам транспортных средств и опыту перемещений [1]. Мобильность как сервис может восприниматься как «лучший выбор» для организации перемещения. Это понятие полностью изменяет отношение к транспорту. Но очевидным требованием для создания приложений класса «мобильность как сервис» является доступность цифровой информации. Причем нужны данные не только непосредственно о транспорте [2].

При этом сами транспортные потоки в городах также меняются. Например, города уже не проектируются для автомобилей. Современные города ориентируются, например, на пешеходов (пешеходная экономика) [3] и велосипедистов [4]. Также все города, в последнее время, уделяют все больше внимания развитию рельсового транспорта вообще и городских железных дорог в частности. Причины этого лежат на поверхности и являются общими для всех городов. Помимо очевидных экологических причин, железнодорожный транспорт (городская железная дорога) на сегодня есть практически единственный способ организации движения без пробок. Внимание к железнодорожному транспорту связано еще и с тем, что само понятие города сегодня значительно расширилось. Сейчас, в большинстве случаев, речь должна идти об агломерациях, поскольку большое количество живущих вне города постоянно ездит в этот самый город на работу, учебу и т.д. При этом усложняются и оценки транспортных потоков. Например, пассажиры в действительности могут не всегда выбирать наиболее кратчайший маршрут, если он связан, например, с пересадками [5]. На выбор будет влиять возможная экономия времени и комфорт пересадок.

В настоящей работе приводятся результаты анализа использования станций железной дороги, которые и были, как раз, направлены на выявление шаблонов (моделей) использования городской железной дороги. Это являлось частью проекта по проектированию новых линий городских железных дорог в Москве [6].

Насколько нам известно, ранее анализ информации об использовании железнодорожных станций не проводился. Можно сказать, что данные обрабатывались только с бухгалтерской целью: количество прошедших человек и выручка.

Дальнейшая часть статьи организована следующим образом. В разделе 2 мы описываем доступные данные. В разделе 3 описывается математический аппарат для исследования. В разделе 4 представлены результаты анализа моделей транспортного поведения.

Представление данных

Текущая модель использования пассажирского железнодорожного транспорта в Москве и области предполагает, что каждый пассажир отмечает свой проездной документ (билет), по крайней мере, дважды – при посадке и при высадке. В терминах

социальных сетей – это две отметки – check-in и check-out [7]. Это повышает ценность информации об использовании железнодорожных станций в ряду других транспортных данных. Из информации об использовании сразу можно восстановить маршрут пассажира. Традиционно, проездные документы в Москве (в московском регионе) отмечаются только при входе (check-in). Соответственно, для восстановления маршрута необходимо пользоваться эвристическими алгоритмами для восстановления маршрутов. Обзор таких алгоритмов есть, например, в нашей работе [8]. Смысл состоит в том, что перерывы в использовании проездных документов как раз и являются разграничителями поездок. Например, если мы отметили использование проездной карты (в Москве, например, это карта Тройка) в точке А, а далее – после относительно длительного перерыва в точке В, то мы можем предположить, что пассажир проехал от А до В, далее, например, находился на работе и после ее завершения совершает новую поездку. Выделение маршрутов по данным телекоммуникационных операторов также базируется на эвристиках [9]. Например, место, откуда совершаются звонки утром и поздним вечером, считается «домом», в дневное время – «работой» и так далее. Здесь возможно также наложение дополнительных условий. Например, задание минимального суммарного времени пребывания в течение месяца, чтобы признать данное место работой.

В случае же информации об использовании железнодорожных станций маршрут известен [10].

Данные валидации (предъявлениям проездных документов) представлены в виде отдельных файлов (CSV), каждый из которых описывает проходы по конкретной станции за один месяц. Одна запись (строка в файле) соответствует одному проходу (на вход или выход). Данные полностью анонимны. Тип используемого документа (например, льготный или нет, одноразовый или переиспользуемый) присутствует, но никакой идентификации документов в принципе нет.

Размер каждого такого файла зависит, конечно, от использования конкретной станции в конкретном месяце и колеблется в интервале 20 – 70 Мб.

Поля, которые содержатся в записях:

- Дата и время
- Характеристика цены (полный или льготный билет)
- Тип льготы (федеральная, РЖД и т.д.)
- Тип билета (разовый в одну сторону, разовый туда и обратно, абонемент и т.д.)
- Носитель информации (билет или карта)
- Начальная станция
- Конечная станция

Для анализа данных использовался облачный инструмент от Google – Collaboratory [11]. Технически, это есть облачная реализация Jupyter notebook. Она не требует никакой установки программного обеспечения, все доступно через браузер. Файлы данных хранились на Google Drive.

Об инструментах построения модели

В настоящем разделе мы хотели бы остановиться на инструментарии, который лежит в основе нашего анализа. Использование железнодорожной станции описывается распределением времени входа (выхода) пассажиров. То есть, для конкретного дня месяца у нас есть временной ряд (например, 24 часа с шагом 1 час), где для каждой временной отметки указывается количе-



ство вошедших (вышедших) пассажиров. Мы можем говорить о шаблоне использования, если окажется, что такие временные ряды для конкретной станции подобны друг другу. Соответственно, задача поиска шаблона сводится к определению подобия временных рядов [12].

Соответственно, первый результат, который был получен в работе – это доказательство того, что использование пассажирами железнодорожных станций показывает удивительную стабильность. Для каждой обследованной станции различие есть только в разрезе рабочие дни – выходные. Объяснение этому состоит, видимо, в том, что пассажиры (пользователи) железной дороги – есть некоторая сформировавшаяся группа. И она мало меняется в рассмотренном интервале. Те, кто пользовался железной дорогой, продолжают ей пользоваться, новых пассажиров дорога не приобретает, но и старых – не теряет.

Учитывая два временных ряда T_1 и T_2 , функция подобия вычисляет расстояние между двумя временными рядами. В нашем случае мы будем ссылаться на меры расстояния, которые сравнивают i -ю точку одного временного ряда (T_1) с i -й точкой другого (T_2). Типичным примером является евклидово расстояние. Существуют и другие методы измерения расстояния [12], но ключевым моментом в нашем случае является равная длина для временных рядов. Большинство других методов были изобретены только для того, чтобы компенсировать разницу в размерах сравниваемых временных рядов. Например, мы могли бы упомянуть здесь Dynamic time warping (DTW) [13]. DTW является одним из часто используемых алгоритмов для измерения сходства между двумя временными последовательностями, которые могут варьироваться в зависимости от скорости поступления данных. Это означает, что он может использоваться при сравнении рядов разной длины (основное достоинство). В нашем случае последовательности всегда имеют равный размер. Большинство метрик сравнения имеют дело с отдельными точками данных, составляющими сравниваемые временные ряды. Существует так называемый производный метод DTW [14], который основан на аппроксимированных локальных производных вместо точек данных. Это интересно, потому что подходы, основанные на производных данных должны быть более подходящими для работы с выбросами данных.

В нашей работе мы успешно использовали меру подобия на основе формы - угловую метрику для сходства фигур (AMSS) [15]. Этот подход рассматривает временной ряд как векторную последовательность, фокусируется на форме данных и сравнивает эти формы, используя вариант сходства косинусов. Это проиллюстрировано на рисунке 1.

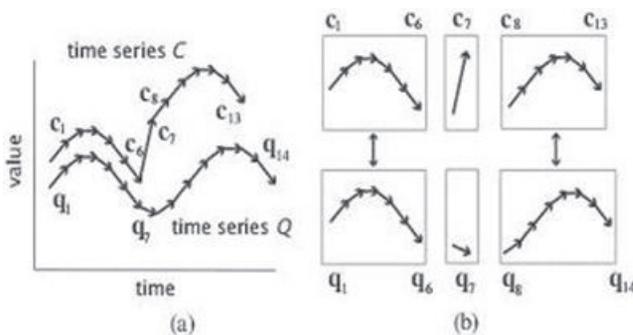


Рис. 1. Угловая метрика для сходства рядов [15].

Fig. 1. Angular metric for series similarity [15].

Метрики сходства косинусов минимизируют влияние выбросов при вычислении подобия (выбросы определяются как гораздо большие или меньшие значения, чем их непосредственные соседи) [15]. Кроме того, на наш выбор повлияла таблица с данными, полученными из обширного тестирования различных подходов к сходству временных рядов, приведенных в вышеупомянутой статье, где AMSS сравнивали с другими показателями: евклидово расстояние, DTW, DDTW и т.д. Согласно представленному исследованию, AMSS была признана лучшей мерой подобия.

Анализ данных

Идея анализа данных основана на следующих предположениях. Шаблоны использования станций, которые присутствуют в данных являются отражением каких-то сложившихся социально-экономических процессов в городской агломерации. Например, использование железной дороги в рабочие дни связано с тем, где живут работники, где находятся их рабочие места в городе, какой режим работы и т.д. Соответственно, заключения, которые будут сделаны на основе анализа данных, должны иметь какое-то объяснение с точки зрения этих процессов. Назовем это “урбанистическое” объяснение. И наоборот. Какие-то изменения в наблюдаемых данных могут служить индикатором (или даже метрикой) изменений в городе (в агломерации).

Первое, что мы хотели исследовать – это режим использования станции. Сообразно общим представлениям, люди с утра едут на работу, вечером – обратно. Соответственно, мы должны видеть пик по входам утром на одних станциях, далее (с задержкой на время поездки) – пик по количеству выходов на других станциях. Вечером картина должна быть обратная. Вот часовые цифры проходов для станции вне Москвы (Подсолнечная): а – входы, б – выходы

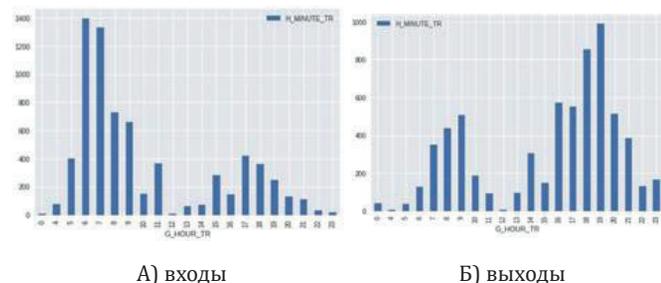


Рис. 2. Входы и выходы – рабочие дни (Подмосковье).

Fig. 2. Entrances and exits - business hours (Moscow region).

Распределение (и оно стабильное) соответствует ожиданиям. В 6-7 утра пассажиры отправляются на работу (пики на графике А – входы на станцию), в 18-19 часов – возвращаются (пики на графике Б – выходы). Но вот такие же графики для железнодорожной станции внутри Москвы. По входам (А) мы уже имеем два пика – утром и вечером. Утром люди едут на работу (станция используется как метро), вечером – уезжают с этой станции домой в область.

Утренний пик сдвинут относительно “областного” на один час – до работы ехать ближе. Вечерний пик приходится на то же самое время, поскольку время окончания работы одно и то же. Отметим спад в середине дня (13-14). Это связано с технологическим перерывом в движении. Сразу после перерыва виден до-



статочной большой спрос. Для станций вне города такого не было. Это позволяет предположить, что отмена перерыва на новых линиях будет крайне востребована внутри города.

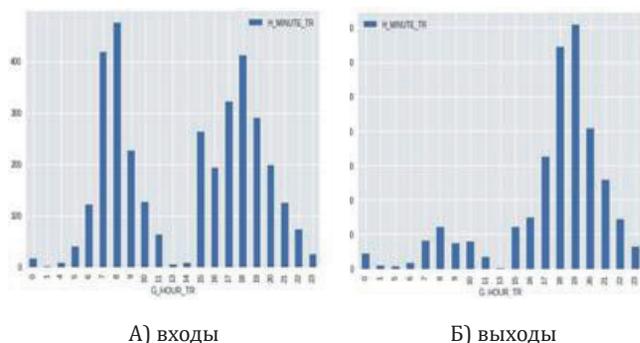


Рис. 3. Входы и выходы – рабочие дни (Москва).
Fig. 3. Entrances and exits - business hours (Moscow).

Распределение по выходам оказывается схожим. При этом отмечается, что пик по выходам приходится на то же самое время, что и в области. Хотя с работы ехать должно быть ближе. Это может быть объяснено либо большей мобильностью (пассажиры что-то делают после работы), либо, с учетом времени на дорогу, тем, что пассажиры московской станции выбирают рабочие места дальше в городе, чем люди из области. Иными словами, есть какое-то постоянное значение для времени, которое люди готовы тратить на дорогу до работы.

По рабочим дням недели указанные распределения, как отмечалось выше, остаются стабильными. А вот в выходные дни картина меняется. С областной станции продолжают уезжать утром на работу, но также в течение дня ездят в город, видимо, уже с частными целями.

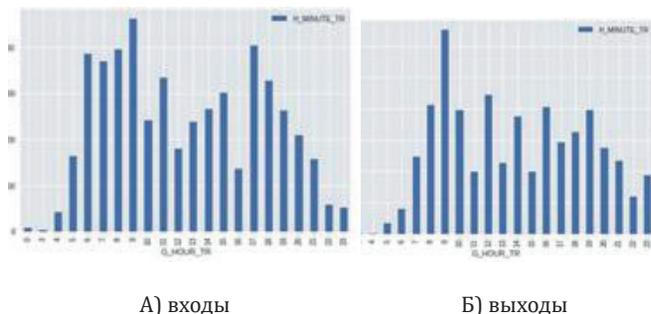


Рис. 4. Входы и выходы (выходные) Подмосковье.
Fig. 4. Entrances and exits (Weekend) Moscow Region.

И отъезды продолжают до 19-21 часа. А вот картина выходов (приездов на станцию) – меняется. Утренние пики – это, видимо, дачники или те, кто в будни живет в городе, а на выходные ездят домой.

На московской станции есть выраженный утренний пик, который определяют работающие в выходные. Интересно, что количественно их практически столько же, как и в будние дни. Нет дневных провалов – люди продолжают ездить, в отличие от рабочих дней. И нет вечернего пика. Иными словами – работающие по выходным в эти дни не возвращаются домой через эту

станцию, так как они делали это в будние дни (см. рис. 3). Одно из возможных объяснений – используют автомобили. Или же, именно эти люди (их офисы, предприятия, например, в окрестностях станции) не работают в выходные.

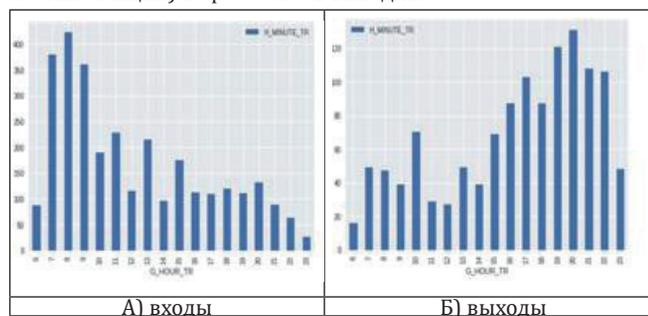


Рис. 5. Входы и выходы (выходные) Москва.
Fig. 5. Entrances and exits (Weekend) Moscow.

Картина по выходам (приездам на станцию) также изменилась. Больше чем в будние дни приезжает в первой половине дня, и, начиная с 15:00, собираются разъехавшиеся местные жители

Из других элементов движения, которые могут быть исследованы:

Соотношение разовых и постоянных билетов. Гипотеза: многократные билеты дешевле. Следовательно, больший процент многократных билетов соответствует более постоянному трафику.

Точно такая же картина может быть получена из анализа разовых билетов в одну сторону и туда и обратно. Первые более соответствуют случайному трафику.

Асимметрия в использовании станций по входу и выходу. Например, уезжающие со станции возвращаются назад не с той станции, до которой они изначально уезжали. Предварительный анализ показывает, что явно существует какая-то мобильность пассажиров, когда перед возвратом они как-то перемещаются по городу. Асимметрия может быть связана и с комбинированными поездками – автомобиль и железная дорога.

Интересные заключения получаются из факта отсутствия пиков трафика в рабочие дни. Объяснение этому факту состоит в том, что подмосковная станция находится в дачной зоне, а для городской станции – это нахождение в черте города в бывшей индустриальной зоне, где только разворачивается строительство.

Заключение

В работе рассматривается задача определения шаблонов использования железнодорожных станций московского региона. По нашему мнению, полученные результаты могут стать практическим инструментом анализа транспортного поведения в московской агломерации. В качестве основного инструмента анализа были использованы методы сравнения подобия для временных рядов и распределений. В работе показаны связи шаблонов использования станций железной дороги с социально-экономическими аспектами жизни жителей агломерации. В статье рассмотрены методы построения (выделения) шаблонов использования станций, связанных с рабочим трафиком и поездками в выходные дни. Также предложены оценки того, как изменения в городе, например, застройка бывших индустриаль-



ных зон будет отражаться в режимах использования железнодорожных станций. Результаты, изложенные в данной статье, нашли практическое применение в работах по проектированию новой системы городских железных дорог в Москве.

Список использованных источников

- [1] Куприяновский В.П. и др. Интеллектуальная мобильность и мобильность как услуга в Умных Городах // *International Journal of Open Information Technologies*. 2017. Т. 5, № 12. С. 77-122. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30739227> (дата обращения: 12.06.2018).
- [2] Куприяновский В.П. и др. Интеллектуальная мобильность в цифровой экономике // *International Journal of Open Information Technologies*. 2017. Т. 5, № 2. С. 46-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28314925> (дата обращения: 12.06.2018).
- [3] Намиот Д. и др. Пешеходы в Умном городе // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4, № 10. С. 15-21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27191892> (дата обращения: 12.06.2018).
- [4] Намиот Д. и др. Велосипеды в Умном городе // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4, № 10. С. 9-14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27191891> (дата обращения: 12.06.2018).
- [5] Намиот Д., Покусаев О., Лазуткина В. О моделях пассажирского потока для городских железных дорог // *International Journal of Open Information Technologies*. 2018. Т. 6, № 3. С. 9-14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32595087> (дата обращения: 12.06.2018).
- [6] Намиот Д. и др. Об оценке социально-экономических эффектов городской железной дороги // *International Journal of Open Information Technologies*. 2018. Т. 6, № 1. С. 92-103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32314918> (дата обращения: 12.06.2018).
- [7] Namiot D., Sneps-Snepp M. Customized Check-in Procedures / S. Balandin, Y. Koucheryavy, H. Hu (Eds.) // *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. ruSMART 2011, NEW2AN 2011. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 6869. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. Pp. 160-164. DOI: 10.1007/978-3-642-22875-9_14
- [8] Namiot D., Sneps-Snepp M. A Survey of Smart Cards Data Mining / Wil van der Aalst et al. (Eds.) // *Supplementary Proceedings of the Sixth International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2017)*. Moscow, Russia, July 27 - 29, 2017. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 1975. Pp. 314-325. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1975/paper33.pdf> (дата обращения: 12.06.2018).
- [9] Steenbruggen J., Borzacchiello M.T., Nijkamp P., Scholten H. Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities // *GeoJournal*. 2013. Vol. 78, issue 2. Pp. 223-243. DOI: 10.1007/s10708-011-9413-y
- [10] Ratti C., Frenchman D. et al. Mobile Landscapes: Using Location Data from Cell Phones for Urban Analysis // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2006. Vol. 33, issue 5. Pp. 727-748. DOI: 10.1068/b32047
- [11] Google Collaboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://research.google.com/colaboratory/unregistered.html> (дата обращения: 12.06.2018).
- [12] Ding H., Trajcevski G., Scheuermann P., Wang X., Keogh E. Querying and Mining of Time Series Data: Experimental Comparison of Representations and Distance Measures // *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2008. Vol. 1, issue 2. Pp. 1542-1552. DOI: 10.14778/1454159.1454226
- [13] Berndt D.J., Clifford J. Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series. *KDD workshop*. 1994. Pp. 359-370. URL: <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/1994/WS94-03/WS94-03-031.pdf> (дата обращения: 12.06.2018).
- [14] Keogh E.J., Pazzani M.J. Derivative Dynamic Time Warping / V. Kumar, R. Grossman (Eds.) // *Proceedings of the 2001 SIAM International Conference on Data Mining*. 2001. Pp. 1-11. DOI: 10.1137/1.9781611972719.1
- [15] Nakamura T., Taki K., Nomiya H., Seki K., Uehara K. A shape-based similarity measure for time series data with ensemble learning // *Pattern Analysis and Applications*. 2003. Vol. 16, issue 4. Pp. 535-548. DOI: 10.1007/s10044-011-0262-6

Поступила 12.06.2018; принята в печать 10.09.2018;
опубликована онлайн 30.09.2018.

References

- [1] Kupriyanovsky V. et al. Intellectual mobility and mobility as a service in Smart Cities. *International Journal of Open Information Technologies*. 2017; 5(12):77-122. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30739227> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [2] Kupriyanovsky V. et al. On Intelligent Mobility in the Digital Economy. *International Journal of Open Information Technologies*. 2017; 5(2):46-63. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28314925> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [3] Namiot D. et al. Pedestrians in the Smart City. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(10):15-21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27191892> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [4] Namiot D. et al. Bicycles in the Smart City. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(10):9-14. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27191891> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [5] Namiot D., Pokusaev O., Lazutkina V. On passenger flow data models for urban railways. *International Journal of Open Information Technologies*. 2018; 6(3):9-14. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32595087> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [6] Namiot D. et al. On the assessment of socio-economic effects of the city railway. *International Journal of Open Information Technologies*. 2018; 6(1):92-103. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32314918> (accessed 12.06.2018). (In Russian)
- [7] Namiot D., Sneps-Snepp M. Customized Check-in Procedures. S. Balandin, Y. Koucheryavy, H. Hu (Eds.) *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. ruSMART 2011, NEW2AN 2011. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 6869. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 160-164. DOI: 10.1007/978-3-642-22875-9_14
- [8] Namiot D., Sneps-Snepp M. A Survey of Smart Cards Data Mining. Wil van der Aalst et al. (Eds.) *Supplementary Proceedings of the Sixth International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2017)*. Moscow,



- Russia, July 27 - 29, 2017. *CEUR Workshop Proceedings*. 2017; 1975:314-325. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1975/paper33.pdf> (accessed 12.06.2018).
- [9] Steenbruggen J., Borzacchiello M.T., Nijkamp P., Scholten H. Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities. *GeoJournal*. 2013; 78(2):223-243. DOI: 10.1007/s10708-011-9413-y
- [10] Ratti C., Frenchman D. et al. Mobile Landscapes: Using Location Data from Cell Phones for Urban Analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2006; 33(5):727-748. DOI: 10.1068/b32047
- [11] Google Collaboratory Available at: <https://research.google.com/colaboratory/unregistered.html> (accessed 12.06.2018).
- [12] Ding H., Trajcevski G., Scheuermann P., Wang X., Keogh E. Querying and Mining of Time Series Data: Experimental Comparison of Representations and Distance Measures. *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2008; 1(2):1542-1552. DOI: 10.14778/1454159.1454226
- [13] Berndt D.J., Clifford J. Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series. KDD workshop. 1994, pp. 359-370. Available at: <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/1994/WS-94-03/WS94-03-031.pdf> (accessed 12.06.2018).
- [14] Keogh E.J., Pazzani M.J. Derivative Dynamic Time Warping. V. Kumar, R. Grossman (Eds.) *Proceedings of the 2001 SIAM International Conference on Data Mining*. 2001, pp. 1-11. DOI: 10.1137/1.9781611972719.1
- [15] Nakamura T., Taki K., Nomiya H., Seki K., Uehara K. A shape-based similarity measure for time series data with ensemble learning. *Pattern Analysis and Applications*. 2003; 16(4):535-548. DOI: 10.1007/s10044-011-0262-6

Submitted 12.06.2018; revised 10.09.2018;
published online 30.09.2018.

About the authors:

Dmitry E. Namiot, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Open Information Technologies, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie gory, Moscow 119991, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4463-1678>, dnamiot@gmail.com

Oleg N. Pokusaev, Candidate of Economic Sciences, Director at the Center for High-Speed Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT) (2 Minaevskij per., Moscow 127055, Russia); Director of the Russian Transport Academy (1 bl., 34 Masha Poryvaeva Str., Moscow 107078, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6916-8897>, o.pokusaev@rut.digital

Vasily P. Kupriyanovsky, Expert at the Center for High-Speed Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT) (2 Minaevskij per., Moscow 127055, Russia); The National Center for Digital Economy of Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie gory, Moscow 119991, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3493-8729>, v.kupriyanovsky@rut.digital



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

