

2. Vasilij Shuts. New possibilities in traffic management in the city road network / Shuts Vasilij / The 14th International Conference «RELIABILITY and STATISTICS in TRANSPORTATION and COMMUNICATION – 2014» / [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/RelStat14/shuts.pdf>. Date of access: 27.04.2016.

3. Исследование городских транспортных приложений для Android и iOS (Altarix, 2013) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://altarix.ru/assets/themes/web/upload/transport\\_apps\\_research.pdf](http://altarix.ru/assets/themes/web/upload/transport_apps_research.pdf). Дата доступа: 27.04.2016.

4. Концевой, М.М. Семиотический аспект оптимизации логистики пассажирских перевозок / М.М. Концевой // Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников VII Международной научно-практической конф., 5–6 марта 2015 г.: в 5 ч. – г. Белов, Изд-во ун-та «Св. Кирилл и Св. Мефодия», Велико Тырново, Болгария, 2015. – Ч. 1. – С. 254–258.

УДК 681.32

## О КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ГОРОДОВ

П.М.Струсинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

*В работе исследуется кластерная модель потоков и ее применение для анализа транспортных систем городов. Рассматриваемая модель является новым подходом к моделированию, который учитывает больше параметров, по сравнению с классической волновой теорией (скорость, плотность, интенсивность) и значительно меньше, чем в агентных моделях, где большое количество характеристик приводит к росту погрешности в результатах и усложняет процесс исследования на больших участках городских сетей при длительном времени моделирования. В статье продемонстрированы примеры практического использования модели на городской транспортной сети.*

### 1. Кластерная модель. Основные понятия

#### 1.1. Кластер

**Кластер** – это предельное устойчивое движение двух и более частиц (автомобилей, клеток и т.д.) на одинаковом расстоянии друг от друга в модели следования за лидером. Модель кластера – это прямоугольник, имеющий длину  $d$  и высоту (плотность)  $y$  [1], [2], [3], [4]. Площадь фигуры равна количеству частиц в кластере или массе кластера  $M = y \cdot d$ . Кластер совершает движение по сети со скоростью  $v$ , зависящей от  $y$  [6].

#### 1.2. Кластеры в транспортном потоке

Кластер – это группа автомобилей, движущихся с одинаковой скоростью на равном расстоянии друг от друга. Он имеет длину ( $m$ ), плотность (авт/м) и скорость (м/с). Плотность кластера ( $y$ ) вычисляется с помощью интенсивности ( $q$ ) транспортного потока и его скорости ( $v$ ). Сбор данных производится с по-

мощью последовательного анализа кадров на видео и определения автомобилей на снимке посредством сравнения двух кадров и определения разницы в цветовой схеме. Тогда интенсивность – количество автомобилей, проехавших через отметку на видео, за единицу времени, скорость – отношение расстояния между двумя отметками к времени, за которое автомобиль проехал эти отметки.

При исследовании многополосных носителей поток разделяется на типы: грузовой или медленный и легковой или быстрый, состоящие соответственно из грузовых и легковых транспортных средств. Медленные грузовые кластеры перемещаются преимущественно по крайним правым полосам, быстрые легковые по крайним левым.

На сетях существуют местный (локальный) и транзитный (сквозной) потоки. Соответствующие кластеры могут либо перемещаться только по своему кольцу (местные кластеры), либо по кольцам всей сети с возможностью перехода между ними (сквозные).

### 1.3. Взаимодействие кластеров

Взаимодействие кластеров автомобилей продемонстрировано на примере регулируемого перекрестка.



Рисунок 1 – Взаимодействие групп автомобилей разных плотностей

Приближаясь к перекрестку, скорость автомобилей и расстояние между ними уменьшается постепенно, что является аналогом *локального распространения информации* в кластере. Ближе к пробке автомобили останавливаются, трансформируясь из догоняющего кластера в кластер-пробку, аналогично результату взаимодействия двух и более кластеров на прямой. Взаимодействие кластеров происходит в условиях *тотально-связного потока*, количество транспортных средств *сохраняется* во время взаимодействия.

В самой модели взаимодействие кластеров реализуется с помощью системы дифференциальных уравнений, где каждое уравнение описывает скорость перемещения границы взаимодействия кластеров.

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = v_1 \\ \dot{x}_1 = \frac{v_2 y_2 - v_1 y_1}{y_2 - y_1} \\ \dot{x}_2 = \frac{v_3 y_3 - v_2 y_2}{y_3 - y_2} \\ \dots \\ \dot{x}_{n-1} = \frac{v_n y_n - v_{n-1} y_{n-1}}{y_n - y_{n-1}} \\ \dot{x}_n = v_n \end{cases}$$

Результат взаимодействия кластеров, полученный с помощью компьютерной модели, подтверждается наблюдаемыми результатами взаимодействия транспортных потоков на практике.



Рисунок 2 – Взаимодействие кластеров в модели

#### 1.4. Кластерная модель потоков на улично-дорожной сети

Любой замкнутый участок дороги аппроксимируется в виде кольца, где общая протяженность дороги будет составлять его длину. Масса потока на кольце разбивается на кластеры в зависимости от скорости (интенсивности или плотности) потока. В одномерной сети, рассматриваемой на примере городской УДС, учитываются размеры колец и расположение узлов. Общие точки (узлы) на сети являются точками конфликта потоков разных колец. На УДС города такие точки обозначают регулируемые и нерегулируемые перекрестки, прямолинейные участки дороги, общие для двух колец, круговые развязки и места соединения разветвления дорог.

При необходимости аналогичным образом участки городской сети можно представить в виде многополосных носителей [7] или двумерных сетей, позволяющих получить дополнительную информацию и учесть большее число параметров потока. Частными случаями двумерных сетей являются *правильные сети*, встречающиеся в городской УДС города Барселона (Испания).

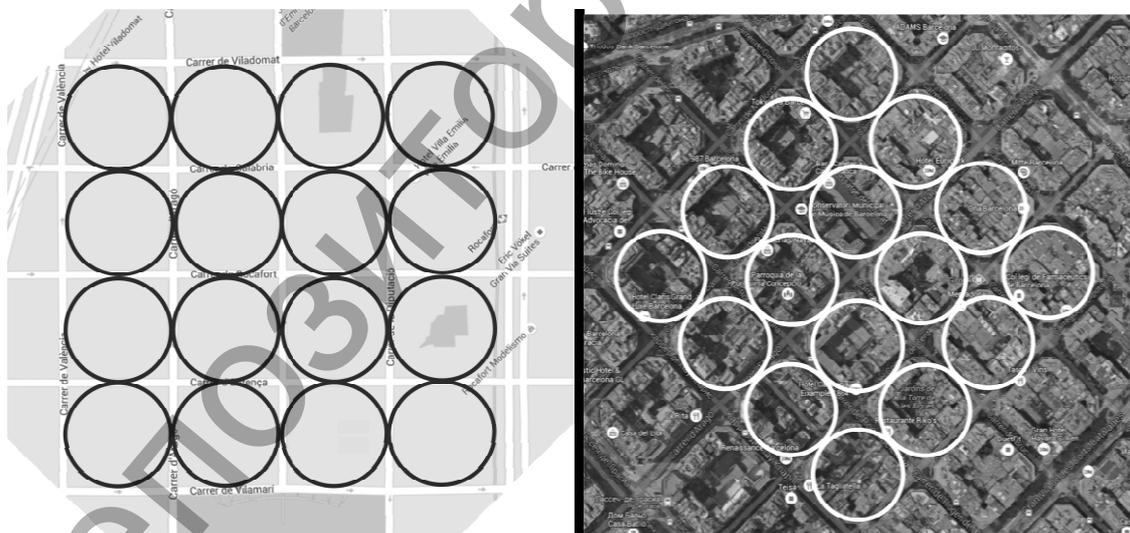


Рисунок 3 – Участок УДС в центре Барселоны в виде правильной двумерной сети

## 2. Исследование взаимодействия транспортных потоков на примере городской УДС

В примере исследуются два простых варианта многополосной сети: двухполосная и трехполосная одномерная замкнутая сеть из двух многополосных колец. На каждой сети распределены локальный и сквозной потоки одинаковой массы 62800 транспортных средств.

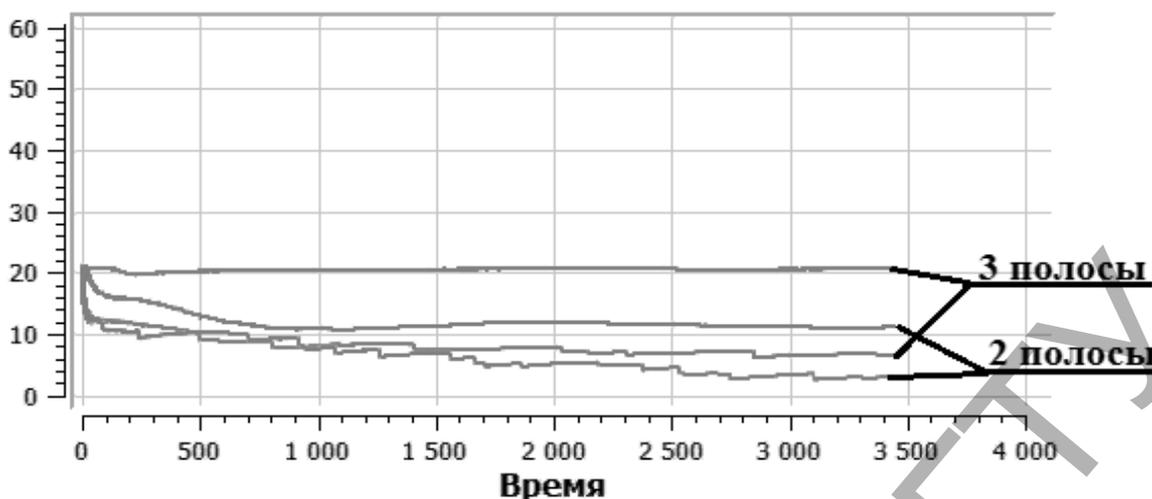


Рисунок 4 – Сравнение средней скорости двух типов потока на 2-х и 3-х полосах

Локальные кластеры перемещаются только по своим кольцам преимущественно по внутренним полосам. Сквозные движутся только по крайней внешней полосе и меняют кольцо при приближении к перекрестку. В результате компьютерного моделирования получена средняя скорость локального и сквозного потоков. Проведено сравнение полученных результатов: скорость локального потока во втором случае *возросла на 90 %*, сквозного *на 40 %*.

### Список литературы

1. Bugaev A.S. Distributed problems of monitoring and modern approaches to traffic modeling / A.S. Bugaev, A.P. Buslaev, V.V. Kozlov, M.V. Yashina // 14<sup>th</sup> International IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC-2011) – Washington, USA, 2011. – P. 477-481.
2. Buslaev A.P. Cluster flow models and properties of appropriate dynamic systems / A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, M.V. Yashina // Journal of Applied Functional Analysis – 2012. – V.8. – P. 54-76.
3. Buslaev A.P. Stability of Flows on Networks / A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, M.V. Yashina // Proceedings of the International Conference “Traffic and Granular Flows -2005” – Springer, 2006. – P. 427-435.
4. Kozlov V.V. Metropolis traffic modeling: from intelligent monitoring through physical representation to mathematical problems / V.V. Kozlov, A.P. Buslaev // International conference on computational and mathematical methods in science and engineering – 2012. – V.1. – P. 750-756.
5. Buslaev A.P. Cluster flow of totally-connected flow with local information / A.P. Buslaev, M.V. Yashina // International conference on computational and mathematical methods in science and engineering (CMMSE) – 2012. – V.1. – P. 225-232.
6. Buslaev A.P. Computer simulation analysis of cluster model of totally-connected flows on the chain mail / A.P. Buslaev, P.M. Strusinskiy // New results in dependability and computer systems, 8<sup>th</sup> DepCoS-RELCOMEX 2013. – Springer, 2013. – P.63-71.
7. Strusinskiy P.M. On cluster flow models on multi-lane supporters / P.M. Strusinskiy // Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE 14. – 2014. – P. 1208-1218.