

## О ВЛИЯНИИ ОДНОСТОРОННЕГО ДВИЖЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТОКА

А. Т. Ахмедиярова, Н. И. Иванов\*

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева,  
050013, Алма-Ата, Республика Казахстан

\*Новосибирский государственный университет,  
630090, Новосибирск, Россия

---

УДК 656.1

Рассматривается возможность применения имитационного моделирования для определения правил управления потоками машин в мегаполисе. В основу построения имитационной модели положена нестационарная s-гиперсеть, которая дает возможность вполне адекватно отобразить потоки машин по улицам города.

**Ключевые слова:** потоки машин, управление транспортом, s-гиперсети.

The possibility of using simulation to define rules for flow control traffic machines in the city. The basis of a simulation model is based on non-stationary s-hypernetwork which enables adequately display the flow of vehicles on city streets.

**Key words:** heavy traffic, transportation management, s-hypernet.

**Введение.** Основной показатель загруженности улиц — средняя скорость движения транспортных средств, которая с годами резко снижается. Причем эта проблема стала затрагивать не только крупные города, но и более мелкие. Возрастающие скопления транспортных средств на дорожно-транспортной сети городов не только повышают затраты за счет непродуктивных потерь времени, но также увеличивают вероятность происшествий и оказывают негативное влияние на окружающую среду и качество жизни людей.

Управление транспортными потоками дорожно-транспортных сетей тесно связано с их пропускной способностью. Для наиболее эффективной работы сети необходимо обеспечить возможность прохождения через нее максимального потока.

Анализ литературы показал, что для построения моделей дорожно-транспортной сети применяют теорию графов или гиперграфов [1, 2, 3, 4]. Однако у построенных таким образом моделей есть недостатки, например сильная перегруженность в узлах (перекрестки, развязки и т. п.). При добавлении в модель потоков разного сорта граф превращается в абсолютно иной объект, с которым порой неясно как работать.

Гиперсети [5, 6], в отличие от графов, позволяют адекватно описывать системы сетевой структуры послонной иерархии.

Так как транспортная инфраструктура мегаполиса представляет собой сложную иерархическую нестационарную систему сетевой структуры, выбранная теория позволяет близко к реальности моделировать транспортные сети и решать ряд задач, связанных с ними, таких как: моделирование транспортных потоков дорожно-транспортной сети города; управление транспортными системами; оптимальное размещение пунктов обслуживания и др.

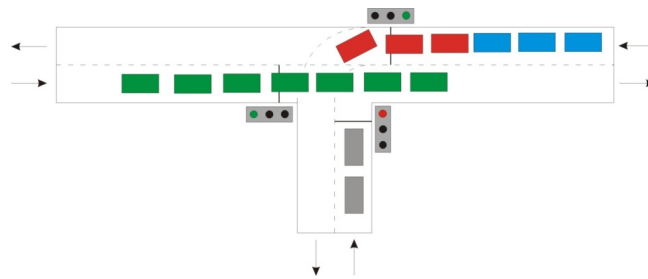


Рис. 1. Проблема левого поворота

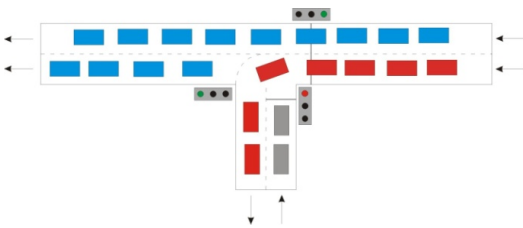


Рис. 2. Одностороннее движение по основной дороге

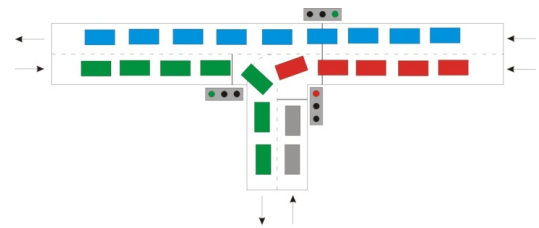


Рис. 3. Одностороннее движение справа до перекрестка

Рассмотрим участок дорожно-транспортной сети с двусторонним движением (одна полоса движения в одну сторону, другая — в противоположную). В данном случае на перекрестке возникает так называемая проблема левого поворота.

На рис. 1 красные машины по правилам дорожного движения вынуждены ожидать, пока проедут зеленые, и только после этого они могут повернуть налево. Однако синим машинам нужно двигаться прямо, но они ожидают, пока проедут красные. Вследствие этого возникает затор и снижается пропускная способность данного участка.

Ввод одностороннего движения (обе полосы движения в одну сторону) может полностью или частично решить данную проблему, разгрузить участок дороги и увеличить пропускную способность, а как следствие, и величину потока.

На рис. 2 видно, что введение одностороннего движения на всей горизонтальной проезжей части полностью решает проблему левого поворота. Ввод одностороннего движения справа от перекрестка (рис. 3.) решает проблему частично: позволяет синим машинам беспрепятственно проезжать перекресток, но красным машинам по-прежнему необходимо ждать, пока проедут зеленые.

В данной работе предлагается имитационная модель прохождения транспорта по территории города, в которой бы адекватно отражалась ситуация на дорожно-транспортной сети.

Так как для построения модели дорожно-транспортной сети была выбрана теория s-гиперсетей, то в статье использованы понятия и определения из [5, 6]. Здесь следует заметить, что теория нестационарных s-гиперсетей позволяет учесть практически все дорожные коллизии, связанные со структурой сети; потоками машин, зависимыми от времени суток и/или дней недели; системой управления транспортными потоками (светофоры, инверсные полосы, дорожные знаки, как постоянные, так и изменяемые в зависимости от ситуации на дорогах); разметкой дорог и т. д.

В данной работе рассматривается проблема влияния на пропускную способность сети введения одностороннего движения на определенных участках улиц.

**1. Построение модели.** 1.1. *Уровни дорожно-транспортной сети.* Уровни дорожно-транспортной сети (ДТС) задают структуру s-гиперсетей для формального описания.

1. Основа ДТС: уличная сеть города, площади и перекрестки, туннели, внутривороневые проезды, стоянки и гаражи, различные препятствия и др.

2. Дороги и другие транспортные линейные сооружения: дорога, включая поперечное сечение между внешними границами тротуаров; проезды, рельсы (трамвая, метро, электропоезда и др.), эстакады, мосты и другие инженерные сооружения, предназначенные для проезда транспорта.

3. Проезжая часть (границами проезжей части являются тротуары, обочины, газоны, отделяющие проезжую часть от тротуаров, или разделительная полоса).

4. Полоса движения — любая из продольных полос на проезжей части независимо от дорожной разметки, имеющая ширину, достаточную для движения в один ряд нерельсовых транспортных средств. Конечными узлами полос являются участки проезжих частей (аллели) между перекрестками, разветвлениями и другими узлами дорожной сети; рельсовые пути; полосы движения на дорогах; полосы движения с контактными проводами для троллейбусов; монорельсы.

5. Локусы — локальные участки сети на полосах движения, соответствующие местам, занимаемым транспортными единицами в течение определенного интервала времени.

6. Маршруты движения транспорта: утвержденные маршруты городского пассажирского транспорта; маршруты автотранспорта предприятий; маршруты индивидуальных и других транспортных единиц.

7. Граф аллелей — множество вершин, соответствующих пересечению стоп-линий с полосами движения на перекрестках, разветвлениях и в других узлах дорожной сети. Ребрам сопоставляются аллели — участки полос на проезжей части. Фактически этот граф описывает структуру движения транспорта, определяемую дорожной разметкой и специальными знаками. Таким образом аллель является непрерывной полосой движения между узлами, остановка в которых необходима в силу правил дорожного движения.

Граф локусов — наибольший граф по количеству вершин и ребер среди вторичных сетей s-гиперсети транспортной системы города. Этот граф строится следующим образом. Аллели разбиваются на участки, в каждом из которых может находиться не более одного автомобиля. В данном случае вершинами являются возможные остановки транспорта или границы между локусами. Две вершины считаются смежными, если автомобиль может быть перемещен из одной вершины в другую за один такт процесса движения.

На рис. 4 представлена схема вложения уровней транспортной сети в соответствии с приведенной выше терминологией.

1.2. *Локусы.* Как мы уже знаем, локусы — это участки сети, занимаемые транспортными единицами. Количество локусов, помещающихся на один аллель, вычисляется по формуле:

$$S = \frac{L_a}{L_l},$$

где  $S$  — количество локусов,  $L_a$  — длина аллеля,  $L_l$  — длина локуса. Однако длина локуса не может быть слишком маленькой, например, если  $L_l$  равна длине автомобиля. При таком раскладе обеспечить безопасную скорость движения (отличную от нуля) невозможно.

Предполагается, что для безопасного движения по участку дороги необходимо соблюдать дистанцию между транспортными средствами. Причем дистанция зависит от скорости автомобиля, за исключением мест, обозначенных знаком, ее определяющим.

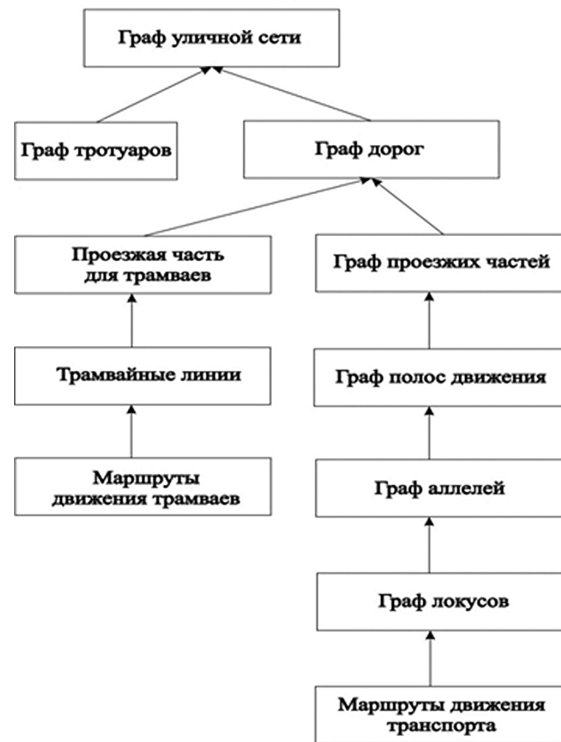


Рис. 4. Иерархия вложений транспортных сетей

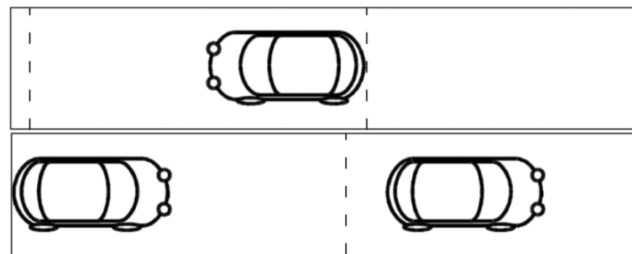


Рис. 5. Безопасная дистанция в зависимости от скорости движения

Ориентировочно безопасной дистанцией между транспортными средствами, движущимися в транспортном потоке с одинаковой скоростью, принято считать расстояние в метрах, равное трети величины скорости (при скорости 60 км/ч безопасная дистанция — 20 метров). Следовательно, в формуле длина локуса  $L_l$  равна  $\frac{v}{3}$ , где  $v$  — скорость транспортного средства. В этом случае получим ситуацию, представленную на рис. 5.

Локус активизируется и начинает работать тогда, когда в нем появляется транспортная единица (автомобиль). Вариант его работы зависит от того, какого типа автомобиль в него попал, в зависимости от этого выбирается „программа“ работы. Например, локусы могут работать по расписанию или случайно: с вероятностью 0,01 автомобиль поедет назад, 0,02 — остановится, 0,97 — поедет вперед. Это позволяет рассматривать разнотипные потоки и их поведение.

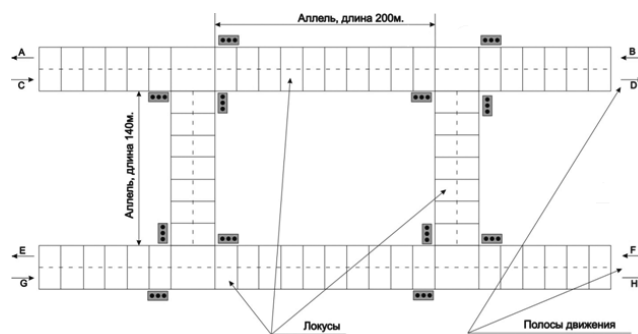


Рис. 6. Пример участка дорожно-транспортной сети

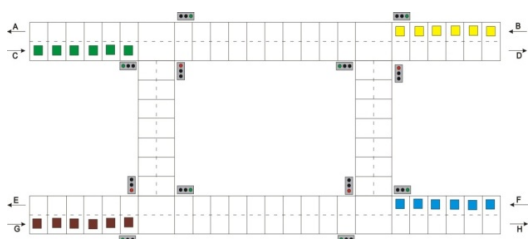


Рис. 7. Начало движения по данному участку

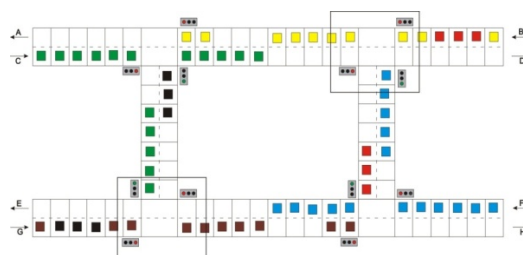


Рис. 8. Проблема левого поворота

1.3. *Имитационное моделирование.* Рассмотрим участок дорожно-транспортной сети, изображенный на рис. 6.

Пусть из С едут машины, чередуясь: 5 — в D, 5 — в E; из F едут машины, чередуясь: 5 — в E, 5 — в D; из В едут в А, но на каждые 7 машин приходится 3, которые едут в Н; из G едут в Н, но на каждые 7 машин приходится 3, которые едут в А. Скорость машин составляет 60 км/ч. Светофоры работают с периодичностью в 20 секунд (20 секунд горит зеленый, 20 — красный), за это время по одной полосе перекресток успевают преодолеть 15 машин.

Задача: посчитать пропускную способность данного участка.

Рассмотрим потактово, что происходит с потоками на данном участке. На рис. 7 показано состояние в момент времени  $t = 0$  с.

На рис. 8 показано состояние в момент времени  $t = 20$  с.

Также на рис. 8 выделены два участка, на которых при следующем такте светофора возникает проблема левого поворота, когда красные и черные машины, ожидая поворота, будут мешать проехать желтым и коричневым соответственно.

Моделируя несколько тактов светофора, получаем, что пропускная способность данного участка дорожно-транспортной сети равна  $\approx 2600$  машин в час в одну сторону.

Рассмотрим аналогичную задачу, но теперь не будет расписания, сколько машин куда едет. Из С в E машины едут с вероятностью 0,33, остальные едут в D; из F в D машины едут с вероятностью 0,33, остальные едут в E; из В в А машины едут с вероятностью 0,8, остальные едут в Н; из G в Н машины едут с вероятностью 0,8, остальные едут в А. Скорость машин составляет 60 км/ч. Светофоры работают с периодичностью в 20 секунд (20 секунд горит зеленый, 20 — красный), за это время по одной полосе перекресток успевают преодолеть 15 машин.

Задача: посчитать пропускную способность данного участка.

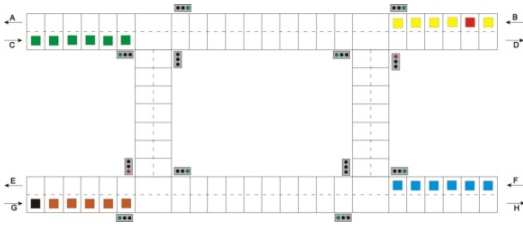


Рис. 9. Начало движения транспортных единиц по участку

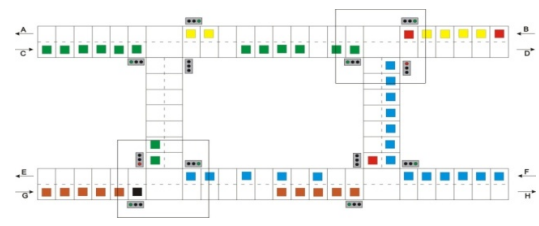


Рис. 10. Коллизии, возникающие при левом повороте

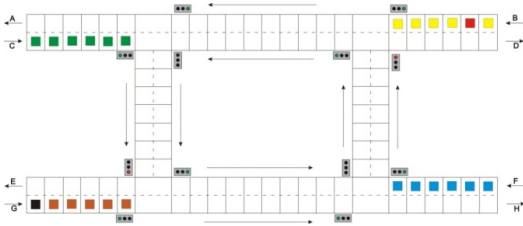


Рис. 11. Состояние в момент  $t = 0$

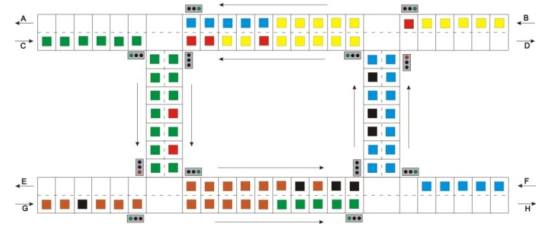


Рис. 12. Пример неправильной ориентации рокадных участков улиц

Аналогично прошлому случаю, рассмотрим потактово, что же происходит на участке. На рис. 9 показано состояние в момент времени  $t = 0$  с.

На рис. 10 показано состояние в момент времени  $t = 60$  с. Выделенные участки указывают на места возникновения проблемы левого поворота. Так, например, за время с 40 до 60 секунд по самой верхней полосе перекресток покинули всего 3 машины (1 красная и 2 желтых).

Моделируя несколько тактов светофора, получаем, что пропускная способность данного участка дорожно-транспортной сети равна  $\approx 2220$  машин в час в одну сторону.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда двухстороннее движение заменили на одностороннее, так как это показано на рис. 11.

Исходные данные остаются неизменными за исключением того, что из В машины едут в Е, а не в Н; из G машины едут в D, а не в А.

Задача: посчитать пропускную способность данного участка.

На рис. 12 показано состояние в момент времени  $t = 60$  с. В данном случае заторы возникают везде. Происходит это из-за того, что слишком большой поток машин поступает на вертикальные участки, имеющие небольшую вместимость.

Моделируя несколько тактов светофора, получаем, что пропускная способность данного участка дорожно-транспортной сети равна  $\approx 1860$  машин в час в одну сторону.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда двустороннее движение заменили на одностороннее, как показано на рис. 13. Тогда условие задачи переписывается следующим образом: машины едут из В в А, но на каждые 15 машин встречаются 5, которые едут в D; машины едут из С в D, но на каждые 15 машин встречаются 5, которые едут в А.

Моделируя несколько тактов светофора, получаем, что пропускная способность данного участка дорожно-транспортной сети равна  $\approx 3600$  машин в час в одну сторону.

Ввод одностороннего движения не только решает проблему левого поворота, но может как увеличить, так и уменьшить пропускную способность участка дорожно-транспортной сети в зависимости от структуры потоков на данной территории города. Таким образом,

Рис. 13. Состояние в момент времени  $t = 0$ 

имитационная модель позволит вычислить оптимальную ориентацию движения по улицам города.

Также стоит отметить, что при построении модели стоит учитывать не только градостроительные факторы дорожно-транспортной сети, но и поведение потоков и характеристики видов транспортных средств, их составляющих.

### Список литературы

1. Розенберг И. Н., Старостина Т. А. Определение максимального потока от источника к стоку в транспортной сети с нечеткими пропускными способностями // Известия ТГРУ. 2005. № 9. С. 101.
2. Абрамова Л. С., Ширин В. В. Моделирование заторовых ситуаций по улично-дорожной сети // Автомобильный транспорт. 2009. № 25. С. 66–69.
3. Гецович Е. М., Засядько Д. В. Расчет потребной пропускной способности условно-кольцевых связей в транспортной сети города // Вестник ХНАДУ. 2009. № 47. С. 116–118.
4. Абрамова Л. С., Чернобаев Н. С. Имитационная модель управления транспортными потоками // Вестник ХНАДУ. 2009. № 47. С. 93–96.
5. Попков В. К. Математические модели связности. Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2006.
6. Попков В. К. Применение теории  $s$ -гиперсетей для моделирования систем сетевой структур // Проблемы информатики. 2010. № 4. С. 17–40.

*Ахмедиярова Айнура Танатаровна — докторант PhD Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева; e-mail: aat.78@mail.ru*

*Иванов Николай Игоревич — магистрант Новосибирского государственного университета; e-mail: peoplecantfly@gmail.com*

Дата поступления — 20.05.2014