

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Оксана Мусыт<sup>1</sup>, Оксана Надточий<sup>2</sup>, Александр Степанчук<sup>3</sup>, Андрей Белятынский<sup>4</sup>

*Национальный авиационный университет, Киев, Украина*

*Эл. почта: <sup>1</sup>kseniya\_musyt@mail.ru; <sup>2</sup>ksenychuk@mail.ru; <sup>3</sup>olst.ph@mail.ru; <sup>4</sup>beljatynskij@mail.ru*

**Аннотация.** Интенсивное увеличение автомобильного транспорта, особенно индивидуального, за последние годы привело к таким последствиям, как увеличение затрат времени на проезд, увеличение количества вынужденных остановок, дорожно-транспортных происшествий, возникновение пробок на улично-дорожной сети (УДС), уменьшение скорости движения, ухудшение функционирования улично-дорожной сети городов. Для решения этих задач наиболее эффективным является использование теории графов, основными характеристиками которых является надежность, стойкость, транспортная доступность свободной сети, транспортная доступность нагруженной сети. На основе их анализа предложены методы оптимизации сети.

**Ключевые слова:** улично-дорожная сеть, граф, входные и выходные потоки, транспортный узел, картограмма.

### Актуальность темы

Быстрый рост количества автотранспортных средств за последние годы привел к перегрузке ими улично-дорожной сети крупных и крупнейших городов Украины и особенно их центров. Анализируя ситуацию, сложившуюся за последние годы, можно утверждать, что увеличение количества автотранспортных средств в стране будет продолжаться, несмотря на уменьшение количества населения.

Интенсивное увеличение автомобильного транспорта, особенно индивидуального, за последние годы вызвало ухудшение условий и безопасности движения. Это привело к таким последствиям, как увеличение затрат времени на проезд, количества вынужденных остановок, дорожно-транспортных происшествий, способствовало возникновению пробок на улично-дорожной сети, уменьшению скорости движения, ухудшению функционирования улично-дорожной сети городов.

### Решение проблемы

Для того, чтобы система управления дорожным движением была эффективной, на сегодняшний день она должна мгновенно реагировать на ситуацию, складывающуюся на УДС, быть чувствительной к факторам, характеризующим дорожную обстановку, и быть надежной. Надежность является важным условием функционирования УДС.

Решение проблемы нуждается в перераспределении автотранспортных потоков (АТП) таким образом, чтобы рабочие участки сети позволяли двигаться без преград.

На основе анализа названных характеристик могут быть предложены методы оптимизации функционирования улично-дорожной сети городов путем моделирования транспортных потоков с использованием теории графов.

Движение автотранспортных потоков осуществляется по улично-дорожной сети, поэтому свойства УДС являются определяющими при описании законов функционирования АТП.

Отметим, что в названии носителя АТП присутствует понятие «сеть». Как математический термин он означает следующее: сетью называется связный граф. Таким образом, математическое определение выделяет основные свойства сети – связность, то есть возможность транспортировки из любого узла сети в любой другой. Если же по какой-либо причине проезд по некоторым дорогам становится невозможным из-за ремонта, аварии и тому подобных причин и при этом вся УДС распадается на некоторое число  $k$  несвязанных между собой частей, УДС перестает быть сетью, а становится просто графом с  $k$ -связными компонентами (Дрю 1972; Оре 1975).

Таким образом, необходимо исследовать свойства улично-дорожной сети как геометрического объекта. Скажем, зафиксированы некоторые точки на плоскости, которые могут быть площадями, пере-

крестками и т. п., т. е. транспортными узлами, которые должны быть соединены транспортной сетью. Например, 9 точек на плоскости расположены, как показано на рис. 1.

При построении сети их можно соединить разными способами (рис. 2—4). Возникает ряд вопросов:

- 1) какой из этих способов более надежен при эксплуатации сети?
- 2) как следует разбить сеть, т. е. добавить новые ребра, чтобы максимально увеличить ее надежность?
- 3) что лучше: строить новую дорогу или увеличить пропускную способность старых?

Для решения этих задач в теории графов (Луканин и др. 1998) вводятся следующие числовые характеристики, позволяющие описать качественные свойства сети:

- надежность;
- стойкость;
- транспортная доступность свободной сети;
- транспортная доступность нагруженной сети.

На основе анализа этих характеристик могут быть предложены методы оптимизации сети с учетом экологических факторов.

Покажем, как может проходить процесс моделирования интенсивности движения транспорта в зоне города с прямоугольной планировочной схемой.

Введем элемент, показанный на рис. 5. УДС с двухсторонним движением транспорта на каждом из перегонов.

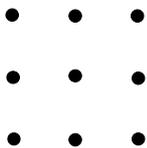


Рис. 1. Расположение узлов сети на плоскости

1 pav. Tinklo mazgų išdėstymas plane

Fig. 1. The plan of network nodes

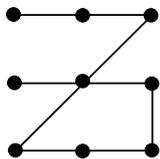


Рис. 2. Сеть А

2 pav. A tinklas

Fig. 2. Network A

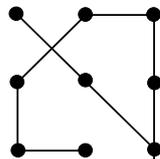


Рис. 3. Сеть В

3 pav. B tinklas

Fig. 3. Network B

Упростим этот элемент, как показано на рис. 6, стянув суммы потоков в направлении А, В, С, D. Моделирование начинаем со входа А, для которого разрешен и выход. Для направлений В, С, D рассмотрим только выход. Граф этой сети показан на рис. 7.

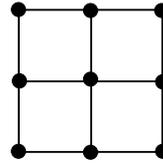


Рис. 4. Сеть С

4 pav. C tinklas

Fig. 4. Network C

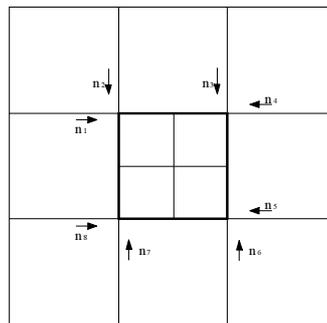


Рис. 5. Улично-дорожная сеть с двухсторонним движением транспорта

5 pav. Gatvių tinklas su dvipusiu eismu

Fig. 5. A road network with two-lane traffic

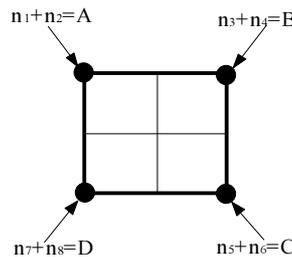


Рис. 6. Упрощенная схема улично-дорожной сети

6 pav. Gatvių tinklo supaprastinta schema

Fig. 6. A simplified scheme of the road network

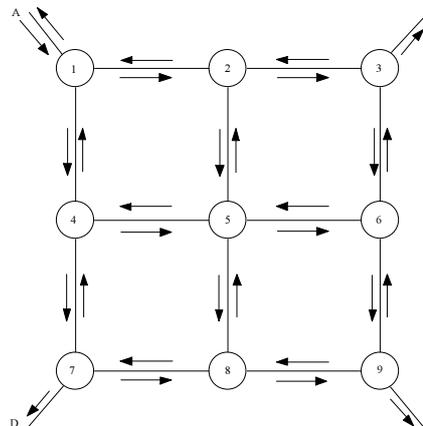


Рис. 7. Граф улично-дорожной сети

7 pav. Gatvių tinklo grafas

Fig. 7. A graph of the road network

Введем следующие ограничения:

– В каждой вершине графа назначим вероятное распределение потоков по направлениям. Индикаторы этих распределений заданы в виде матриц (рис. 8);

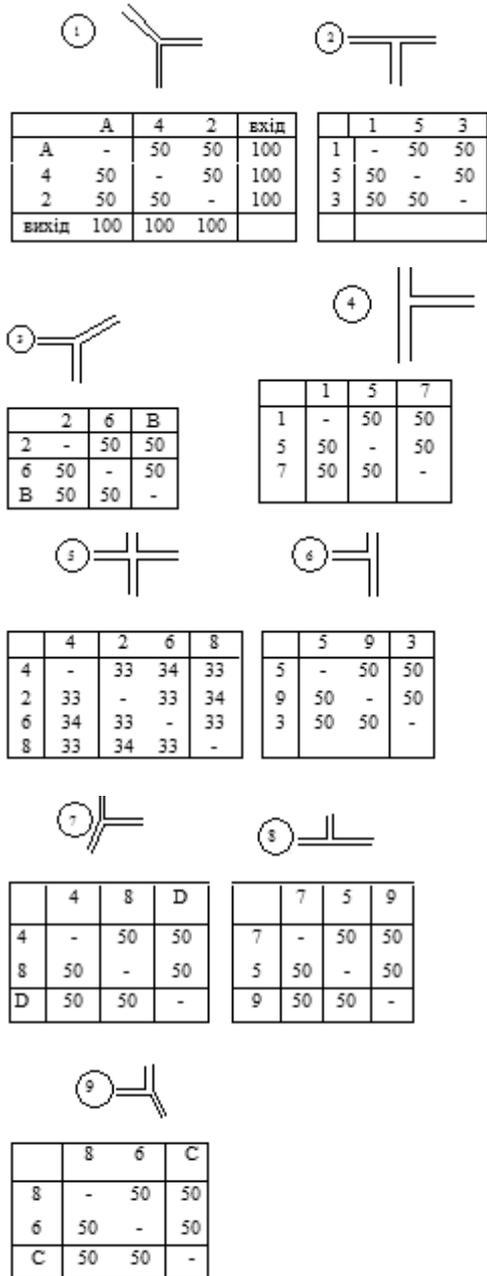


Рис. 8. Индикаторы распределения потоков с равной вероятностью в вершинах графа

8 pav. Srautų paskirstymo indikatoriai

Fig. 8. Flow distribution indicators

– Запрет на левые и правые повороты в вершинах графа (узлах транспортной сети) отсутствует, а разворот автотранспортных средств (АТС) запрещен;

– Входной поток состоит из однородных экипажей и входит в район с постоянной скоростью, двигаясь по сети в соответствии с направлением, указанным индикатором;

– Длина всех перегонов одинакова, задержек транспорта в узлах не происходит, все узлы имеют саморегулирующее движение, которое обеспечивается кольцевыми сечениями;

– Входной поток в данном направлении (например, А) движется по сети до тех пор, пока не уменьшится до такой величины, что от него останется неделимая единица, транзитом движется по цепи перегонов до ближайшего выхода;

– Сумма входных потоков должна равняться сумме выходных потоков.

Промоделируем это на конкретном примере. Пусть по направлению А, В, С и D в район заходит одинаковое количество единиц транспорта, например, 100.

Как показано в (Рейцен и Кадди 2000; Степанчук и Рейцен 2003), можно построить программу для расчетной схемы, что позволяет разбрасывать поток по участкам (перегонам) сети. Трансформируем сеть, изображенную на рис. 8, как показано на рис. 9. Разбросаем поток, входящий с одного направления, А = 100. Получим картограмму, изображенную на рис. 10, на которой на каждом перегоне интенсивность указана в каждом направлении. Суммируя их, получим картограмму интенсивности. Таким способом строится картограмма и для других входов В, С и D, которые нужно просуммировать и получить окончательную картограмму.

Нами разработана программа для расчетных схем, позволяющая строить картограмму интенсивности движения в каждом узле (вершине графа).

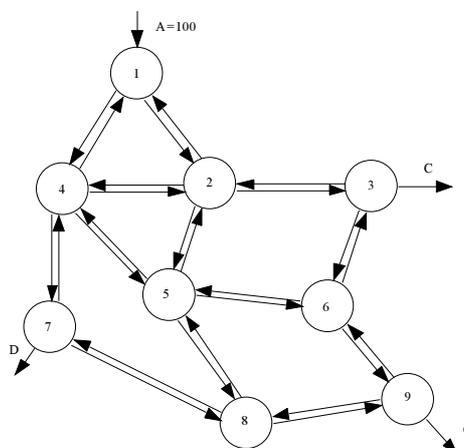
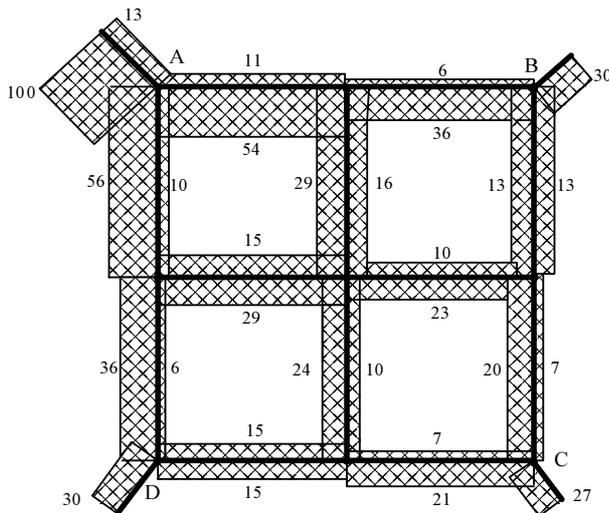


Рис. 9. Трансформированная сеть

9 pav. Transformuotas tinklas

Fig. 9. Transformed network



**Рис. 10.** Картограмма интенсивности АТС  
**10 pav.** Transporto priemonių intensyvumo kartograma  
**Fig. 10.** A cartogram of vehicle intensity

По ним могут быть рассчитаны моменты исчерпания пропускной способности входных каналов, если перейти от гипотетических данных к реальным условиям, задав реальные величины транспортных потоков с распределением их по видам экипажей и задав реальные индикаторы распределения потоков в каждом узле. Как видим, достаточно задать величины входящих в район потоков по направлениям А, В, С, D, чтобы получить картограмму в каждом из 9 узлов без проведения обследований движения в этих узлах. Город с любым планированием может быть разбит на конечное число изолированных элементов, по каждому из которых могут быть получены интересующие нас характеристики, которые должны приниматься за основу при расчете транспортных потоков.

## Выводы

1. Моделирование транспортных потоков с использованием теории графов дает возможность решать целый ряд проблем и задач, включая расчет удельных показателей дорожного движения, обоснование схем организации движения с перераспределением транспортных потоков по сети, создание пешеходной зоны, определение целесообразности данных мероприятий, а также создание экспертных систем.
2. Это дает возможность ввести конкретные меры по организации дорожного движения, главной целью которых и будет улучшение условий движения,

уменьшение количества вынужденных остановок, заторов на перекрестке.

## Литература

- Дрю, Д. 1972. *Теория транспортных потоков и управление ими*. Москва: Транспорт. 424 с.
- Луканин, В. Н.; Буслаева, А. П.; Трофименко, Ю. В.; Яшина, М. В. 1998. *Автотранспортные потоки и окружающая среда*. Москва: Инфра-М. 408 с.
- Оре, Н. 1975. *Теория графов*: пер с англ. Москва: Наука. 352 с.
- Рейцен, Е. А.; Кадди, Х. 2000. Моделирование транспортных потоков в городах, *Безопасность дорожного движения Украины: Научно-технический вестник* 1(6): 41–46.
- Степанчук, О. В.; Рейцен, Е. А. 2003. Оптимизация транспортных потоков в подрайонах города, *Градостроительство и территориальное планирование* 15: 211–224.

## MODELLING TRAFFIC FLOWS USING GRAPH THEORY

O. Musyt, O. Nadtochij, A. Stepanchiuk, A. Beljatynskij

### Abstract

An intensive increase in road transport, particularly individual, in recent years has led to such consequences as increased time spent on travel, the number of forced stops, traffic accidents, the occurrence of traffic jams on the road network, reducing traffic speed and a deteriorated urban road network in cities. The most effective method for solving these problems is the use of graph theory, the main characteristics of which is reliability, durability and accessibility of a free as well as loaded network. Based on their analysis the methods for network optimization are proposed.

**Keywords:** road network, graph, input and output flows, transport hub, cartogram.

## TRANSPORTO SRAUTŲ MODELIAVIMAS NAUDOJANT GRAFŲ TEORIJĄ

O. Musyt, O. Nadtochij, A. Stepanchiuk, A. Beljatynskij

### Santrauka

Kaip žinoma, pastaruoju metu gyvenamosiose vietose nuolat didėja transporto priemonių skaičius. Tai kelia tam tikrų rūpesčių visiems eismo dalyviams – didėja kelionės trukmė, sustojimų skaičius, kelių eismo įvykiai, atsiranda transporto spūstys ne tik pagrindinėse miesto gatvėse, bet ir magistralėse, mažėja važiavimo greitis ir pan. Transporto srautus galima modeliuoti įvairiais būdais ir metodais, vienas jų – grafų teorija. Grafų teorija, taikoma transporto srautams modeliuoti, pasižymi patikimumu, stabilumu, prieinamumu esant laisvam ir apkrautam tinklui.

**Reikšminiai žodžiai:** gatvių ir kelių tinklas, grafas, įėjimo ir išėjimo srautai, transporto mazgas, kartograma.