

УДК 656.02+351.811.12

## МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПО ПОЛОСАМ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В СЛУЧАЕ ЗАПРЕЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО ЕЕ ОТДЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ

Наумова Н.А.

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства  
образования и науки РФ, Краснодар, e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru*

Оперативное определение оптимальных маршрутов объезда наиболее загруженных участков позволяет снизить транспортные затраты отдельных участников движения и более равномерно распределить транспортные потоки по сети. Разработанная автором модель позволяет прогнозировать эффект от тех или иных реорганизаций схемы движения транспортных средств без проведения дополнительного сбора исходных данных в режиме реального времени. Разработан алгоритм решения одной из таких задач: перераспределение транспортных потоков в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети. Приведен пример решения практической задачи о выделении отдельной полосы для общественного транспорта в городе Краснодаре с применением разработанного алгоритма. При решении задачи применялся интегрированный критерий, так как оптимизация одних показателей эффективности влечет изменение других показателей качества организации движения.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, функция транспортных затрат, организация движения, оптимизация

## THE METHOD OF CALCULATING THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC FLOWS ALONG THE LANES OF THE ROAD NETWORK IN THE CASE OF THE PROHIBITION MOVEMENT IN LOCAL AREAS

Naumova N.A.

*Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru*

Operational definition of optimal routes bypass the most congested areas can reduce travel costs of individual traffic participants. In addition this may help to more evenly distribute traffic flows across the network. The author's model may predict the effect of reorganizations traffic patterns of vehicles without additional baseline data collection in real-time. The algorithm for solving such problems as the redistribution of traffic flows in the event of a temporary closure or liquidation of any element of the transport network was developed. The example of solving practical problems of allocating of separate lanes for public transport in the city of Krasnodar with application of the developed algorithm was given. The integrated criterion was applied for the solution of this problem, as the optimization of some performance indicators entails changes in other indicators of quality traffic.

**Keywords:** traffic flows, the function of transport costs, traffic management, optimization

В настоящее время уже не требует доказательств тот факт, что применение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет значительно увеличить эффективность распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети [2, 3]. Своевременное информирование участников движения о степени загрузки тех или иных локальных участков сети, оперативное определение оптимальных маршрутов объезда наиболее загруженных участков позволяет снизить транспортные затраты отдельных участников движения и более равномерно распределить транспортные потоки по сети.

Автором ранее [4, 6] была разработана мезоскопическая математическая модель распределения транспортных потоков, базирующаяся на гипотезе о распределении интервалов по времени между транспортными средствами по обобщенному закону

Эрланга, построенная на принципе транспортного (потокowego) равновесия [1]. Отличительной особенностью модели является то, что она позволяет описывать потоки достаточно высокой плотности. При этом функция транспортных затрат выражена в явном виде, что позволяет определять показатели эффективности организации движения без применения имитационного моделирования. Кроме того, структура модели позволяет прогнозировать эффект от тех или иных реорганизаций без проведения дополнительного сбора исходных данных в режиме реального времени.

Так, например, в случае временно-го закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети достаточно ввести необходимые изменения в матричное представление улично-дорожной сети  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$  [7], исключая данный участок из рассмотрения. С этой целью

интенсивность движения по ликвидированным дугам принимается равной нулю, а также в матрицах  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$  в соответствующих ячейках запрещаются повороты на ликвидированные дуги. Далее возможны два варианта:

– *пользовательский оптимум* – с учетом равновесного распределения потоков проводится перераспределение корреспонденций по оптимальным маршрутам;

– *директивный метод* – экспертами определяются возможные варианты объезда закрытого участка, для каждого варианта рассчитывается интегрированный критерий

$$K = \sum_i \alpha_i \frac{K_i}{(K_i)_0},$$

учитывающий влияние этого варианта объезда на улично-дорожную сеть; выбирается вариант, отвечающий условию  $K \rightarrow \min$ .

**Алгоритм перераспределения транспортных потоков в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети**

**1-й шаг.** Вносим изменения в матрицы  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$ , означающие ликвидацию указанных дуг из улично-дорожной сети.

**2-й шаг.** Определяем пары «источник – сток» и интенсивность транспортных потоков между ними, высвободившуюся в связи с ликвидацией участка сети.

**3-й шаг.** Выбираем вариант перераспределения транспортных потоков между определенными в пункте 2 парами «источник – сток»:

- а) пользовательский оптимум;
- б) директивный метод.

**4-й шаг.** Если выбран вариант (а), то проводим расчет перераспределения интенсивности согласно алгоритму, изложенному в статье [5];

если выбран вариант (б), то группа экспертов определяет варианты объезда ликвидированного участка сети для каждой из пар «источник – сток», выявленных в пункте 2 настоящего алгоритма;

**4.1)** для каждого варианта вводятся изменения в матрицы  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$ ;

**4.2)** автоматически рассчитываются показатели:  $K_1$  – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС;  $K_i$  – среднее время движения между каждой парой «источник – сток», выявленной в пункте 2 алгоритма;

**4.3)** рассчитывается критерий

$$K = \sum_i \alpha_i \frac{K_i}{(K_i)_0}$$

при заданных экспертами уровнях значимости показателей;

**4.4)** оптимальный вариант выбирается из условия  $K \rightarrow \min$ .

**5-й шаг.** Вводятся окончательные изменения в матрицы  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$ , отвечающие оптимальному варианту.

**Применение алгоритма к решению задачи о целесообразности выделения отдельной полосы для движения общественного транспорта на участке улично-дорожной сети**

Разработанный аналитический аппарат позволяет решать такие задачи в рамках всей улично-дорожной сети, как определение целесообразности проведения тех или иных мероприятий по реорганизации дорожного движения. Рассмотрим в качестве примера одну из таких задач, актуальную в настоящее время: определить целесообразность выделения отдельной полосы для движения общественного транспорта в г. Краснодар по улице 40 лет Победы в обоих направлениях между перекрестками улиц **40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская** (рисунок). Исходные данные для расчетов по данным мониторинга предварительно вносим в базы данных  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$ .

В данном случае оптимизация одних показателей эффективности влечет изменение других показателей качества организации движения. Поэтому для проверки целесообразности выделения специальной полосы для движения общественного транспорта будет рассчитываться интегрированный критерий

$$K = \alpha_1 \cdot \frac{K_1}{(K_1)_0} + \alpha_2 \cdot \frac{K_2}{(K_2)_0} + \alpha_3 \cdot \frac{K_3}{(K_3)_0}, \quad (1)$$

где  $K_1$  – среднее время (в часах) движения между перекрестками улиц **40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская** общественного транспорта (без учета остановок для посадки-высадки пассажиров);  $(K_1)_0$  – среднее время (в часах) движения между перекрестками улиц **40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская** общественного транспорта при текущей схеме организации движения;

$K_2$  – среднее время (в часах) движения от перекрестка улиц **40 лет Победы – Колхозная** до перекрестка улиц **40 лет Победы – Российская** других видов транспорта;  $(K_2)_0$  – среднее время (в часах) движения от перекрестка улиц **40 лет Победы – Колхозная** до перекрестка улиц **40 лет Победы – Российская** других видов транспорта при текущей схеме организации движения;

$K_3$  – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС.;

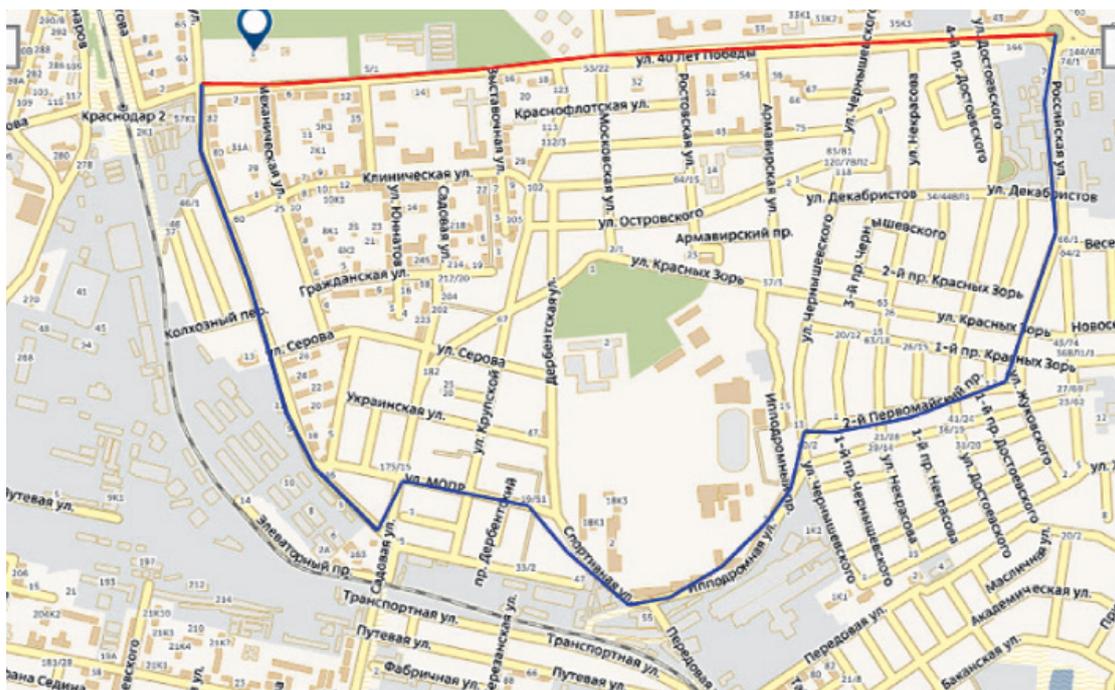
$(K_3)_0$  – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при текущей схеме организации движения.

Уровни значимости определяются таким образом, чтобы выполнялось условие:  $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$ . При решении поставленной задачи особое значение уделяется времени дви-

жения общественного транспорта, поэтому примем  $\alpha_1 = 0,7$ ,  $\alpha_2 = 0,15$ ,  $\alpha_3 = 0,15$ .

Проведение мероприятий по реорганизации движения целесообразно при значении критерия  $K < 1$ . Эффективность мероприятий тем выше, чем меньше значение критерия.

Расчеты, необходимые для определения параметра  $K_3$ , занесены в табл. 1.



Участок улично-дорожной сети г. Краснодара

Таблица 1

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при текущей схеме организации движения

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	6,32
40 лет Победы	Юннатов	11,0
40 лет Победы	Выставочная	0,33
40 лет Победы	Московская	6,67
40 лет Победы	Чернышевского	17,8
40 лет Победы	Некрасова	0,3
40 лет Победы	Российская	9,33
Колхозная	Серова	0,19
Гражданская	Юннатов	2,29
Колхозная	Садовая	3,03
Ипподромная	Крупской	0,41
Ипподромная	Передовая	3,9
Первомайская	Чернышевского	0,9
Первомайская	Некрасова	0,15
Первомайская	Российская	1,65

Значение показателя  $K_1 = (K_1)_0 = 0,1142$  ч.  
 Значение показателя  
 $K_2 = (K_2)_0 = 0,1142$  ч.  
 Значение показателя  
 $K_3 = (K_3)_0 = 64,27$  авт./ч.  
 Значение критерия

$$K = 0,7 \cdot \frac{0,1142}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{0,1142}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{64,27}{64,27} = 1$$

Доля общественного транспорта в каждом из направлений движения составляет в среднем 20%. При выделении для общественного транспорта отдельной полосы по ул. **40 лет Победы** пересчитаем интенсивность в каждом направлении движения с учетом этого по следующим формулам:

$$N_r = 0,2 \cdot (N_1 + N_2);$$

$$N_l = 0,8 \cdot (N_1 + N_2), \quad (2)$$

где  $N_1, N_2$  – интенсивности по полосам при фактической организации движения, авт./ч;  $N_r$  – интенсивность движения по полосе для общественного транспорта, авт./ч;  $N_l$  – интенсивность по полосе для личного автотранспорта, авт./ч.

Расчеты, необходимые для определения параметра  $K_3$ , в этом случае приведены в табл. 2.

- Значение показателя  $K_1 = 0,1035$  ч.
- Значение показателя  $K_2 = 0,1736$  ч.
- Значение показателя  $K_3 = 85,58$  авт./ч.

Значение критерия:

$$K = 0,7 \cdot \frac{0,1035}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{0,1736}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{85,58}{64,27} = 1,062$$

Следовательно, выделение отдельной полосы для общественного транспорта нецелесообразно.

Рассчитаем критерий в случае, если 15% личного автотранспорта перенаправить по альтернативному (более длинному) маршруту от **40 лет Победы** по улицам **Колхозная – Садовая – МОПР – Спортивная – Ипподромная – Первомайская – Российская – 40 лет Победы** (табл. 3). Другие альтернативные маршруты между указанной парой **40 лет Победы – Колхозная** и **40 лет Победы – Российская**, позволяющие полностью исключить проезд по перегруженной улице **40 лет Победы**, отсутствуют.

Значение показателя  $K_1 = 0,1035$  ч.

Значение показателя

$$K_2 = 0,85 \cdot 0,1583 + 0,15 \cdot 0,2282 = 0,1688 \text{ ч.}$$

Значение показателя  $K_3 = 80,61$  авт./ч.

Значение критерия

$$K = 0,7 \cdot \frac{0,1035}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{0,1688}{0,1142} + 0,15 \cdot \frac{80,61}{64,27} = 1,044.$$

**Таблица 2**

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при выделении полосы для общественного транспорта

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	7,6
40 лет Победы	Юннатов	11,0 (пробка)
40 лет Победы	Выставочная	3,37
40 лет Победы	Московская	9,01
40 лет Победы	Чернышевского	17,8 (пробка)
40 лет Победы	Некрасова	11 (пробка)
40 лет Победы	Российская	13,28 (пробка)
Колхозная	Серова	0,19
Гражданская	Юннатов	2,29
Колхозная	Садовая	3,03
Ипподромная	Крупской	0,41
Ипподромная	Передовая	3,9
Первомайская	Чернышевского	4,32
Первомайская	Некрасова	0,17
Первомайская	Российская	1,65

Таблица 3

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при выделении полосы для общественного транспорта и перераспределении личного автотранспорта по альтернативному маршруту

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	6,37
40 лет Победы	Юннатов	11,0 (пробка)
40 лет Победы	Выставочная	1,55
40 лет Победы	Московская	7,62
40 лет Победы	Чернышевского	17,8 (пробка)
40 лет Победы	Некрасова	2,69
40 лет Победы	Российская	11,11
Колхозная	Серова	0,83
Гражданская	Юннатов	3,34
Колхозная	Садовая	4,49
Ипподромная	Крупской	0,66
Ипподромная	Передовая	4,77
Первомайская	Чернышевского	4,32
Первомайская	Некрасова	0,15
Первомайская	Российская	3,91

Следовательно, выделение отдельной полосы для общественного транспорта нецелесообразно без проведения реконструкции УДС для перераспределения личного автотранспорта.

### Заключение

Решение рассмотренных практических задач следует четко разработанным алгоритмам, вследствие чего может быть полностью автоматизировано. Благодаря аналитическим методам расчета функции транспортных затрат в узлах улично-дорожной сети, решение приведенных выше задач с применением ЭВМ получается в режиме реального времени (в отличие от программ, применяющих имитационное моделирование). Этот факт отвечает требованиям, предъявляемым к системам ИТС. Детальное описание узлов сети в разработанной автором математической модели позволяет учитывать изменения в схеме организации движения, не выходя за рамки самой модели, без проведения дополнительного сбора информации. Вышеперечисленные факты позволяют не только повысить оперативность принятия

решений, но и свести к минимуму трудозатраты, а следовательно, способствуют росту экономической эффективности при решении транспортных задач.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект р-юг-а-13-08-96502.*

### Список литературы

1. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / под ред. А.В. Гасникова – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
2. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01. – М., 2012. – 450 с.
3. Зырянов В.В. Развитие систем управления транспортным процессом в городах // Комплексное решение территориальных проблем дорожного движения: сб. научн. трудов МАДИ. – М.: МАДИ, 1983. – С. 57–60.
4. Наумова Н.А. Метод определения функции транспортных затрат для узловой точки сети типа «нерегулируемое пересечение потоков требований» // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 4). – С. 717–722.
5. Наумова Н.А., Данович Л.М., Данович Ю.И. Алгоритм определения базы данных распределения интенсивностей транспортных потоков при введении в эксплуатацию

новых потокообразующих объектов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9 (ч. 2) – С. 273–276.

6. Natalya Naumova. The method of determining the function of traffic costs for the node with regulated flows of requests // *Life Science Journal*. – 2014. – № 11(11). – P. 321–327. – ISSN 1097 – 8135; E- ISSN 2372 – 613X.

7. Natalya Naumova, Larisa Danovich. A model of flows distribution in the network // *Life Science Journal*. – 2014. – № 11(6). – P. 591–597. – ISSN 1097 – 8135; E- ISSN 2372 – 613X.

### References

1. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskij E.A., Holodov Ja.A., Shamraj N.B. *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov: ucheb. posobie / Pod red. A.V. Gasnikova*. M.: MFTI, 2010. – 362 p.

2. Zhankaziev S.V. *Nauchnye osnovy i metodologija formirovanija intellektual'nyh transportnyh sistem v avtomobil'no-dorozhnyh kompleksah gorodov i regionov: dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.22.01*. M., 2012. 450 p.

3. Zyrjanov V.V. *Razvitie sistem upravlenija transportnym processom v gorodah // Kompleksnoe reshenie territorial'nyh problem dorozhnogo dvizhenija: sb. nauchn. trudov MADI*. M.: MADI, 1983. pp. 57–60.

4. Naumova N.A. *Metod opredelenija funkcii transportnyh zatrat dlja uzlovoj tochki seti tipa «nereguliruemoe peresechenie potokov trebovanij» // Fundamental'nye issledovanija*. no. 10 (chast' 4). 2013. pp. 717–722

5. Naumova N.A., Danovich L.M., Danovich Ju.I. *Algoritm opredelenija bazy dannyh raspredelenija intensivnostej transportnyh potokov pri vvedenii v jekspluataciju novyh potokoobrazujushih obektov // Fundamental'nye issledovanija*. 2014. no. 9 (ch. 2) pp. 273–276.

6. Natalya Naumova. The method of determining the function of traffic costs for the node with regulated flows of requests // *Life Science Journal*, 2014. no. 11(11). pp. 321–327. ISSN 1097 8135; E- ISSN 2372 613X.

7. Natalya Naumova , Larisa Danovich. A model of flows distribution in the network // *Life Science Journal*, 2014. no. 11(6). pp. 591–597. ISSN 1097 8135; E- ISSN 2372 613X.

### Рецензенты:

Атрошенко В.А., д.т.н., профессор, декан факультета компьютерных технологий, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар;

Видовский Л.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар.

Работа поступила в редакцию 13.02.2015.