УДК 656.02+351.811.12

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ ПОТОКООБРАЗУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Наумова Н.А., Данович Л.М., Данович Ю.И.

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

Проблема оптимального распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети является очень актуальной, так как градостроительные особенности не позволяют постоянно расширять улично-дорожную сеть за счет введения ее новых элементов. Благодаря развитию вычислительной техники появилась возможность оперативно и эффективно координировать организацию движения автотранспортных средств по улично-дорожной сети. В работе приведен и обоснован метод решения важной практической задачи: определение изменений в распределении транспортных потоков по сети при введении в эксплуатацию новых потокообразующих элементов. Разработанный алгоритм базируется на авторской математической модели распределения транспортных потоков по сети, которая обеспечивает оперативный обмен данными между микро- и макромоделями. Алгоритм построен с учетом теории потокового равновесия и удовлетворяет первому принципу Вардропа. Разработанные алгоритмы реализованы в виде компьютерных программ в среде DELPHI 7.

Ключевые слова: транспортный поток, математическая модель, функция транспортных затрат, пара «источник – сток», оптимальный маршрут

THE ALGORITHM FOR CALCULATING THE DATABASE OF DISTRIBUTION TRAFFIC FLOWS AFTER THE COMMISSIONING OF NEW OBJECTS

Naumova N.A., Danovich L.V., Danovich Y.I.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: Nataly_Naumova@mail.ru

Urban features do not allow to constantly expand the road network through the introduction of its new elements. So the problem of optimal distribution of traffic flows on the road network is very relevant. In connection with the development of computer technology, the ability to quickly and effectively coordinate the organization of the movement of vehicles on the road network now appeared. The paper presents the method and proved an important practical problem solving: identifying changes in the distribution of traffic flows on the network with the introduction of new elements. The developed algorithm is based on the author's mathematical model of the distribution of traffic flows on the network. It provides operational data exchange between micro- and macro-models of traffic flows. The algorithm has been constructed according to the theory of flow equilibrium. It satisfies the first principle of Wardrop. These algorithms are implemented in the form of computer programs in an environment DELPHI 7.

Keywords: traffic flow, mathematical model, function of traffic costs, pair of «source - sink», optimal route

Проблема эффективного использования улично-дорожной сети (УДС) населенных пунктов, несомненно, очень актуальна. В связи со значительным ростом числа владельцев личного автотранспорта, высокой мобильностью населения крупных городов транспортная сеть городов заметно перегружена. Градостроительные особенности не позволяют постоянно расширять улично-дорожную сеть за счет введения ее новых элементов. Следовательно, требуется грамотное управление транспортными потоками по уже существующей УДС. Несмотря на существование многочисленных математических моделей и методов, применяемых для анализа транспортных сетей [2,6,7], требуется постоянное их усовершенствование. Благодаря развитию вычислительной техники, появлению новых технических средств, позволяющих контролировать текущее состояние потоков на сети, появилась возможность оперативно и эффективно координировать организацию движения автотранспортных средств по УДС.

Авторами разработана математическая модель распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети [1,3], в основу которой положена гипотеза о распределении интервалов по времени между автотранспортными средствами по полосам движения по обобщенному закону Эрланга. На базе этого выведена в явном аналитическом виде функция транспортных затрат как функция от параметров распределения потоков по всем направлениям движения в узловых точках сети [3,4]. Параметры распределения обобщенного закона Эрланга для каждого направления движения, в свою очередь, являются функциями от интенсивности транспортного потока [5].

Математические модели, применяемые для автоматизированного управления УДС, могут быть построены с применением различных математических теорий. Это может

быть объектно-ориентированное программирование, рассматривающее отдельные физические объекты и взаимодействие между ними. При построении собственной модели авторы применяли теорию графов. Узловые точки (УТ) графа – пересечения транспортных потоков (перекрестки), дуги графа – отдельные полосы движения между соседними перекрестками. Поток на графе задан в виде функции плотности распределения интервалов по времени между автотранспортными средствами.

В данной работе приведен и обоснован метод решения следующей важной практической задачи: какие изменения в распределении транспортных потоков по сети повлечет за собой введение в эксплуатацию новых потокообразующих элементов. Использование в расчетах выведенной авторами функции транспортных затрат обеспечивает оперативный обмен данными между микро- и макромоделями. Транспортные затраты в узлах сети меняются при изменении схемы организации дорожного движения по сети в целом, а их пересчет происходит в ходе выполнения разработанных алгоритмов.

Метод расчета распределения интенсивностей транспортных потоков по полосам движения улично–дорожной сети исходя из матрицы корреспонденций при введении в эксплуатацию нескольких пар «источник–сток»

В основу разработанного алгоритма положен принцип транспортного (потокового) равновесия, удовлетворяющего первому принципу Вардропа, согласно которому каждый водитель выбирает путь с наименьшими транспортными расходами. Причем выбор отдельного водителя влияет на загрузку сети, а следовательно, влияет на выбор следующих пользователей для той же пары «источник – сток». В работе будем придерживаться обозначений, принятых в учебном пособии [2]:

i – общий объем пользователей, которые должны прибыть из пункта i в пункт j;

$\{\rho_w : w \in W\}$ – матрица корреспонденций;

x_p – величина потока, идущего по пути $p \in P$;

N_p – интенсивности движения по дугам маршрута p;

$x = x_p : p \in P$ – вектор потоков по всем путям $p \in P$;

G_P – функция транспортных затрат на проезд по пути p;

y_e – величина потока по дуге $e \in E$;

$y = y_e : e \in E$ – вектор, описывающий загрузку дуг сети;

$$y_e = \sum_{p \in P} \theta_{ep} x_p ,$$

где

$$\theta_{ep} = \begin{cases} 1, & \textit{путь } p \textit{ проходит через дугу } e; \\ 0 & \textit{в противном случае} \end{cases};$$

$\Theta = \{\theta_{ep} : e \in E,\ p \in P\}$ – матрица инцидентности дуг и путей.

Пусть $\omega_1 = (i_1, j_1)$, $i \in \{1,2,...,k\}$ – пары «источник – сток», вводимые в эксплуатацию. Будем считать заданной базу данных $\boldsymbol{A}_0$, составленную в соответствии с требованиями нашей математической модели автотранспортной сети. Предвидятся изменения в распределении интенсивностей транспортных потоков, вызванные введением в эксплуатацию нескольких новых источников или стоков требований. Составлена матрица корреспонденций, отражающая предстоящие изменения.

Идея алгоритма состоит в следующем: определяются оптимальные маршруты между парами «источник – сток» при существующем распределении интенсивностей. Затем увеличивается по всем оптимальным маршрутам интенсивность на малую величину, и вновь выбирается оптимальный маршрут, отвечающий пользовательскому оптимуму. В данном случае функция транспортных затрат по маршруту не является монотонной относительно распределения интенсивностей по дугам данного маршрута.

Модуль 1 *(определение «кратчайшего» пути между двумя вершинами)*.

Каждой дуге графа соответствует число $l(x, y) = \bar{\mu}(x) + \mu(l_{xy})$ – «длина» дуги; если вершины не соединены дугой, то $l(x,y) = \infty$.

В ходе выполнения алгоритма вычисляют величины $d(x)$, равные *кратчайшему* пути из вершины $\boldsymbol{s} = z_0$ в вершину $\boldsymbol{x}$:

$$d(x) = \min\{d(x),\ d(y) + l(x, y)\}.$$

В нашем случае $l(x, y)$ – функция транспортных затрат $G_P(x) \equiv G_P(x(N_p)$ потока от источника $i=x$ до стока $j=y$.

Необходимые для решения задачи данные будут храниться в двух массивах:

MPlus – данные об узловых точках, имеющих постоянные метки;

MMinus – данные об узловых точках, имеющих временные метки.

Каждый элемент массивов имеет следующую структуру:

$$MPlus_i = \begin{pmatrix} Str1 \\ Str2 \\ TimeCr \\ Trassa \end{pmatrix} \text{ и } MMinus_i = \begin{pmatrix} Str1 \\ Str2 \\ TimeCr \\ Trassa \end{pmatrix}$$

Str1 – магистраль, по которой совершалось движение до данной узловой точки;

Str2 – магистраль, пересекающая *Str1*;

TimeCr – время движения *d(x)* до данной узловой точки от начальной точки маршрута;

Trassa – перечень пройденных узловых точек.

1-й шаг. Задаем начало и конец маршрута. Узловую точку (УТ) – начало пути заносим в массив *MPlus* под номером $n = 0$ и в массив *MMinus* под номером $4n$.

2-й шаг. Определяем все узловые точки, смежные с УТ № n, и заносим в массив *MMinus* данные о них под номерами $(4n + 1)$, $(4n + 2)$, $(4n + 3)$.

Если вершины не являются смежными или движение в этом направлении запрещено, то $l(x,y) = \infty$.

3-й шаг. Вычисляем функцию транспортных затрат от УТ № n до всех смежных с ней, не занесенных в массив *MPlus*.

4-й шаг. Выбираем минимальный элемент в поле *MMinus.TimeCr* и заносим данные о соответствующей УТ в массив *MPlus* под номером $(n+1)$. Из массива *MMinus* данные об этой УТ удаляем.

5-й шаг. Повторяем шаги 2 – 4 до тех пор, пока УТ № $(n+1)$ в массиве *MPlus* не совпадет с концом маршрута. Если УТ № $(n + 1)$ в массиве *MPlus* совпала с концом маршрута, то расчеты заканчиваем.

6-й шаг. Массив *MPlus* – список УТ, через которые пролегает кратчайший маршрут p_0 между двумя данными точками сети.

При расчетах в качестве отдельного модуля (модуль 2) используется алгоритм определения оптимального маршрута для данной пары $\omega_1 = (i_1,j_1)$ и предполагаемого увеличения интенсивности по дугам этого маршрута.

Модуль 2 *(алгоритм определения оптимального маршрута для данной пары $\omega_1 = (i_1,j_1)$ и предполагаемое увеличение интенсивности по дугам этого маршрута)*.

1-й шаг. Составляем оптимальный (по пользовательскому оптимуму) маршрут p_0 между источником и стоком для отдельного требования; вычисляем среднее время t_0 движения по маршруту (модуль 1).

2-й шаг. Определяем количество требований, которые должны воспользоваться данным маршрутом p_0 в течение определенного времени (данные берем из матрицы корреспонденций).

3-й шаг. Определяем предполагаемое увеличение интенсивности по дугам ΔN_e, связанное с данной парой «источник – сток»:

$$\Delta N_e = \frac{y_e}{t_0}.$$

Алгоритм *определения базы данных распределения интенсивностей транспортных потоков по сети.*

1-й шаг. Определяем оптимальный маршрут для каждой из пар $\omega_1=(i_1,j_1)$, $i \in \{1,2,...,k\}$ «источник – сток» (модуль 2).

2-й шаг. Задаем точность ε и составляем новую базу данных $\boldsymbol{A_0}$, в которой увеличение интенсивности по дугам каждого из маршрутов p_{ei} произведено на величину $\min\{\varepsilon; \Delta N_{ei}\}$.

3-й шаг. Корректируем матрицу корреспонденций с учетом распределенных требований.

4-й шаг. Повторяем пункты 1 – 3 до тех пор, пока по маршрутам не будут распределены все требования (с точностью до ε).

В предлагаемом алгоритме учитывается тот факт, что каждый водитель выбирает путь с наименьшими транспортными расходами. При этом предполагается осведомленность водителей о текущем состоянии загруженности транспортной сети. Данное предположение не является «фантастическим» при современном уровне оснащенности водителей автотранспорта техническими средствами. Кроме того, при многократном повторении эксперимента система сходится к равновесному распределению потоков.

Заключение

Математическое моделирование является важным инструментом, позволяющим решать задачи оптимального управления транспортной сетью городов, прогнозировать изменения в уровне загрузки улично-дорожной сети, вызванные появлением новых «центров притяжения» клиентов. Выгодным отличием разработанной авторами модели от других существующих является тот факт, что транспортные затраты в узлах сети при введении изменений по организации движения на всей улично-дорожной сети пересчитываются в процессе работы алгоритма без привлечения новых исходных данных.

В настоящее время существуют различные системы автоматического управления дорожным движением (АСУДД). Предло-

женные в работе алгоритмы реализованы в виде компьютерных программ в среде DELPHI 7 и могут служить отдельным модулем в существующих АСУДД.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края, проект р–юг–а–13–08–96502.

Список литературы

1. Домбровский А.Н., Наумова Н.А.Транспортные потоки на улично–дорожной сети городов: моделирование и управление : монография / Кубан. гос. технол. ун–т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012. – 124 с.

2. Гасников А.В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. под ред. Гасникова А.В. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

3. Наумова Н.А. Метод определения функции транспортных затрат в узловых точках сети.//Фундаментальные исследования. – 2013. – №8 (ч. 4), С. 853–857.

4. Наумова Н.А. Метод определения функции транспортных затрат для узловой точки сети типа «нерегулируемое пересечение потоков требований». //Фундаментальные исследования.– 2013. – №10 (ч. 4). – С. 17–722

5. Наумова Н.А., Данович Л.М., Данович Ю.И. Определение параметров распределения обобщенного закона Эрланга по экспериментальным данным при изучении транспортных потоков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. URL: http://www.science–education.ru/111–10045

6. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса: обзорный реферат. – М., 2003. – 44 с.

7. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №11. – С.3–46

References

1. Dombrovskiy A.N., Naumova N.A.Transportnyye potoki na ulichno–dorozhnoy seti gorodov: modelirovaniye i upravleniye : monografiya [Traffic Flows in Urban Transportation Networks: Modeling and Control]. Yug Publishing House, Krasnodar, 2012. 124 p.

2. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskiy E.A., Holodov Y.A., Shamray N.B. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Introduction to mathematical modeling of traffic flows]. Moscow, MPhTI,2010. 362 p.

3. Naumova N.A. Metod opredeleniya funktsii transportnyh zatrat v uzlovyh tochkah seti [The method of determining functions of transport costs at the nodal points in the network]. Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research, 2013, no 10 (part 4),p.p. 853–857.

4. Naumova N.A. Metod opredeleniya funktsii transportnykh zatrat dlya uzlovoy tochki seti tipa «nereguliruyemoye peresecheniye potokov trebovaniy» [The method of determining the function of transport costs at the nodal point of the type "unregulated crossing streams requirements."]. Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research, 2013, no 8 (part 4), p.p. 717 – 722.

5. Naumova N.A., Danovich L.M., Danovich YU.I. Opredeleniye parametrov raspredeleniya obobshchennogo zakona Erlanga po eksperimental'nym dannym pri izuchenii transportnykh potokov [The determination of the parameters of the distribution of a generalized Erlang law on experimental data in the study of transport flows]// Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education. 2013. – no 5; URL: http://www.science–education.ru/111–10045

6. Semenov, V.V. Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki transportnykh potokov megapolisa: Obzornyy referat [Mathematical modelling of traffic flows dynamics in the megapolis: Review], Moscow, 2003.

7. Shvetsov, V.I. Matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov [Mathematical modeling of traffic flows], Avtomatika i telemekhanika – Automation and Remote Control, vol.11, 2003.

Рецензенты:

Атрощенко 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 10.06.2014.