

МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

В статье исследуются механизмы управления транспортными потоками с учетом динамики состояния транспортной системы города. Приведена графическая и математическая формализация фазовых состояний и переходов конфликтных транспортных потоков, разработана базисная модель управления этими потоками в фазовых переходах.

Ключевые слова: конфликтные транспортные потоки, фазовый переход, коэффициент реверсивности, матричная модель, состояние транспортной системы.

Постановка проблемы. Применяемые в настоящее время механизмы управления конфликтными ситуациями транспортных потоков в городской среде в условиях существенного повышения плотности движения, вызванного значительным приростом числа автомобилей, перестали быть эффективными. Свидетельством этого являются ежедневные многочасовые заторы и пробки почти во всех крупных городах мира. Основой возникновения этих процессов является недостаточное изучение природы взаимного влияния конфликтных транспортных потоков и условий городской транспортно-логистической среды.

Несмотря на существующие механизмы решения, проблемы выявления природы возникновения «конфликтов» в транспортном потоке и закономерности их влияния на формирование городского трафика остаются недостаточно изученными.

Решение проблемы обеспечения эффективности управления транспортными потоками в условиях городской среды промышленного района осложняется в связи с техническим и моральным устареванием планировочной структуры улично-дорожного комплекса. Поэтому наиболее эффективными в сложившихся условиях являются организационные и технологические решения, ориентированные на повышение эффективности и организованности транспортных процессов [1, с. 456].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ результатов исследований транспортных потоков отечественными и зарубежными учеными позволяет выделить несколько направлений (теорий).

Одной из наиболее часто используемых в качестве базы для исследований движения транспортных потоков является теория, основанная на гидродинамической аналогии – модель Лайтхилла-Уизема. Основная гипотеза гидродинамической теории состоит в том, что в любой точке дороги расход (автомобили в час) есть функция плотности (автомобили на милю) [2, с. 3]. Очевидным недостатком этой теории является невозможность учета особенностей структуры транспортного потока на его поведение.

Многие авторы в своих исследованиях проводили изучение лишь некоторых характерных особенностей транспортных потоков для конкретных условий (В.К. Губенко, А.А. Лямзин) [3, с. 152–154].

Возникающим противоречиям между реальными данными и их воспроизведениями в основных моделях транспортных потоков, выбору адекватных моделей посвящены работы Д. Кастильо, Ф. Бенитеза, Р. Германа, И. Пригожина, В. Зырянова [4, с. 549–550]. Исследование и предсказание перехода транспортного потока от свободного состояния отражено в альтернативной теории транспортных потоков Б. Кернера [5, с. 19–37].

Постановка задачи. В качестве базы для моделирования конфликтных транспортных потоков в условиях городской среды определена теория трех фаз транспортного потока Кернера, которая рассматривает фазовые переходы транспортного потока: свободное движение – умеренное движение – затрудненное движение (рис. 1).

Также в исследовании необходимо учитывать характерные условия городской среды промышленного района.

В транспортной системе промышленного района многие процессы являются массовыми; они характеризуются закономерностями, которые не обнаруживаются на основании лишь одного или нескольких наблюдений. Поэтому моделирование должно опираться на массовые наблюдения.

Другая проблема порождается динамичностью рынка транспортных услуг в условиях городской среды, изменчивостью его параметров и структурных отношений. Вследствие этого процессы, протекающие в транспортной системе промышленного района, приходится постоянно держать под наблюдением, необходимо иметь устойчивый поток новых данных. Поскольку наблюдения за процессами и обработка эмпирических данных обычно занимают довольно много времени, то при построении математических моделей деятельности транспортных систем в условиях городской среды требуется корректировать исходную информацию с учетом ее запаздывания.

Таким образом, необходимо выделить спектр проблем и задач требующих своего решения:

1) формализация процесса движения транспортного потока в городской среде невозможна без использования сложного математического аппарата;

2) систематизация экспериментального материала о движении транспортных потоков на улицах и дорогах, который необходимо в дальнейшем использовать как основу для выдвижения гипотез о закономерностях движения транспортных потоков и формировании новых теорий.

То есть необходима разработка механизма управления конфликтными транспортными потоками в фазовых переходах в условиях городской среды.

Изложение основного материала исследования. Для формирования математического базиса механизма обеспечения стабильности фазовых состояний транспортных потоков наиболее целесообразно применение универсального языка и алгоритмов на основе агрегатного подхода [6]. Данный подход позволяет рассматривать с единых позиций процесс перехода из одной фазы в другую транспортных средств с индивидуальным поведением в городской среде (на макро- и микроуровнях). При этом учитывается свойство реверсивности транспортных потоков промышленного района как характеристика полинаправленности векторов движения транспортных потоков на ограниченном временном отрезке.

Для математической записи рангового распределения фазовых состояний транспортных

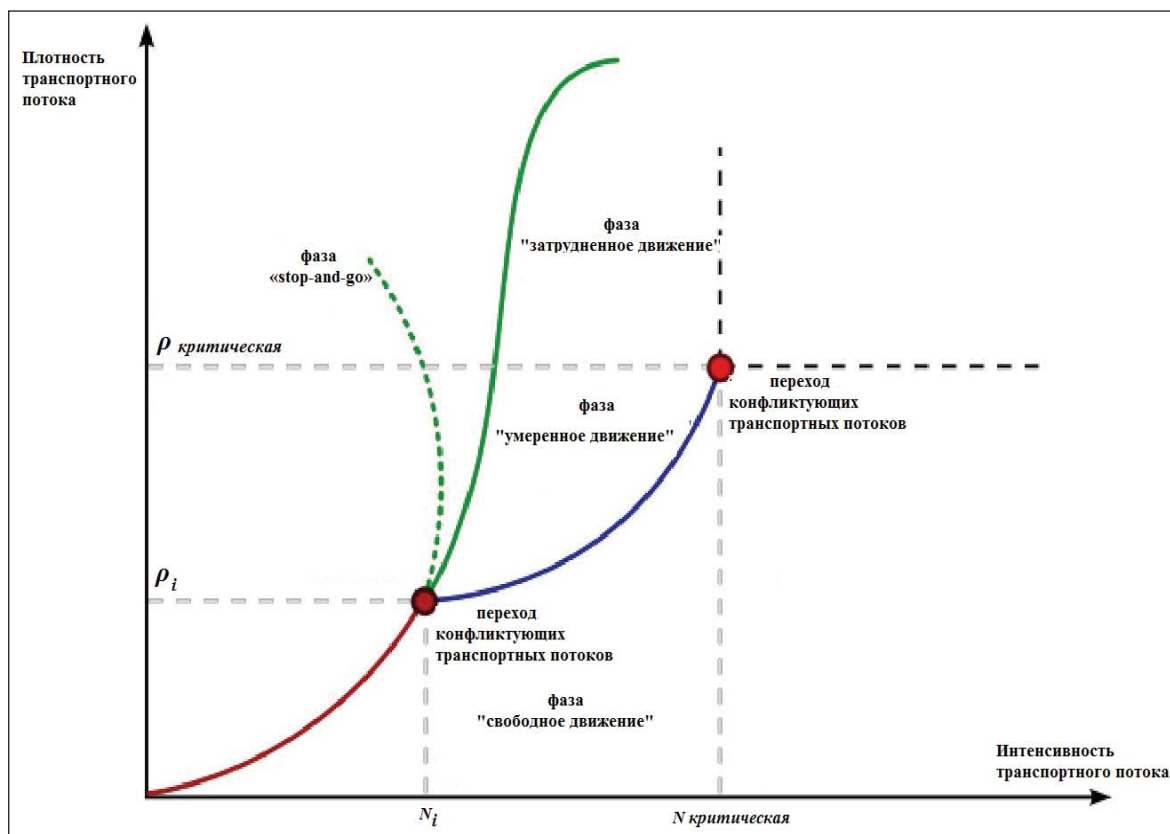


Рис. 1. Фазовые переходы транспортных потоков в городской среде

средств в исследуемой среде используется следующая модель:

$$W(\beta) = \frac{W_1}{\beta^r} \quad (1)$$

где $W(\beta)$ – значение коэффициента реверсивности транспортных единиц с рангом r в городской среде;

W_1 – значение коэффициента реверсивности транспортных единиц первого ранга (объект с максимальным значением коэффициента реверсивности);

β^r – ранговый коэффициент, характеризующий форму кривой Н – распределения.

В качестве критерия близости искомой функции в методе наименьших модулей используется минимум суммы модулей разностей эмпирических и теоретических данных:

$$E_1 = \sum_{r=1}^n \left| \widehat{W}_r - \frac{W_1}{r\beta} \right|, \quad (2)$$

где \widehat{W}_r – фактическое значение коэффициента реверсивности транспортных единиц.

Суть метода наименьших квадратов заключается в отыскании параметров аналитической зависимости, которые минимизируют сумму квадратов отклонений эмпирических значений от величин, рассчитанных по аппроксимирующей зависимости. Целевая функция при этом имеет следующий вид:

$$E_2 = \sum_{r=1}^n \left| \widehat{W}_r - \frac{W_1}{r\beta} \right|^2, \quad (3)$$

Формируя алгоритмы решения поставленной задачи, выполняя дифференцирование и приравнявая полученные производные к нулю, после несложных преобразований можно записать выражения для параметров W_1 и r , обеспечивающих минимум функции:

$$r = - \frac{\sum_{\beta=1}^n \ln \widehat{W}_\beta \ln \beta - n \sum_{\beta=1}^n (\ln \widehat{W}_\beta \ln \beta)}{(\sum_{\beta=1}^n \ln \widehat{W}_\beta \ln \beta)^2 - \sum_{\beta=1}^n \ln \beta - n \sum_{\beta=1}^n (\ln \beta)^2} \quad (4)$$

$$W_1 = e^{\frac{1}{n} \left[\sum_{\beta=1}^n \ln \widehat{W}_\beta + \beta \sum_{\beta=1}^n \ln \beta \right]} \quad (5)$$

На основании математических инструментариев макро- и микроанализа, в соответствии с методикой, представленной выше, строятся ранговые параметрические распределения для соответствующих уровней многомерного куба фазовых состояний и переходов (рис. 2).

Гауссовой доверительный интервал определяется из выражения:

$$W_G = \left(\int_{\beta_1}^{\beta_2} W^g(\beta) d\beta \right) - (\beta_1 - \beta_2) W_2 \quad (6)$$

где $W(\beta)$ – ранговое параметрическое распределение (микроуровень куба фазовых состояний);

$W^g(\beta)$ – гауссово распределение параметров на уровне фазы n исследуемой группы транспорт-

ных единиц в городской среде, построенное в ранговой дифференциальной форме;

W_2 – значение исследуемого параметра правой ранговой границы на уровне фазы n исследуемой группы транспортных средств.

Соответственно системный доверительный интервал определяется как:

$$W_z = \left(\int_{\beta_1}^{\beta_2} (W(\beta) - W^g(\beta)) d\beta \right) \quad (7)$$

В итоге получаем отношение системного и гауссового доверительных интервалов, которое называется коэффициентом когерентности:

$$K_{GZ} = \lim(KC \rightarrow KO) \frac{W_z}{W_G} \cong \frac{\Delta W_z}{\Delta W_G} \quad (8)$$

где KC – количество секторов в кубе;

KO – количество исследуемых объектов;

ΔW_z – системный доверительный интервал объекта;

ΔW_G – гауссовой доверительный интервал.

На основании полученных результатов исследований и расчетов приведенного выше механизма в одном из районов городской среды на примере г. Мариуполя составлены соответствующие графики (рис. 3)

Полученные результаты позволяют отметить низкую фазовую стабильность в первой ранговой группе – фаза «старт и стоп». Для получения универсальной оценки состояния транспортного потока в этой фазе использовалась программа Sta Tran 4.0 – Статистическая обработка данных транспортного мониторинга.

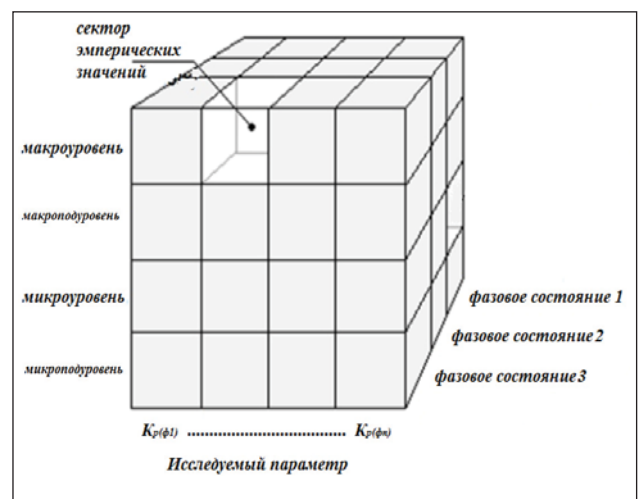


Рис. 2. Многомерный куб фазовых состояний и переходов конфликтных транспортных потоков в городской среде

$K_{p(\phi n)}$ – коэффициент реверсивности транспортных потоков на исследуемой фазе перехода в городской среде

Визуальные наблюдения в рамках исследования позволили определить основные типы конфликтных ситуаций, возникающих на дороге в городской среде. Их всего шесть, которые, в свою очередь, распределены по «родовым группам».

Для исследуемого процесса характерна высокая динамичность, что предопределило низкую устойчивость фазовых переходов конфликтных транспортных потоков в городской среде, а также низкий уровень управляемости. Поэтому для управления конфликтными транспортными потоками в рассматриваемых условиях необходима разработка механизма, учитывающего природу транспортных потоков промышленного района и

способного к адаптации к динамично изменяющимся условиям городской среды.

На основе комплексного применения симплекс-метода и теории графов рекомендуется использовать в качестве базовой модели особую матрицу (рис. 4).

Формализованная запись эффективности транспортных процессов в городской среде в этом случае может иметь следующий вид:

$$f_i^{эф} = \{z_m k_n; \dots; z_{m+1} k_{n+1}\} \Rightarrow \min, \quad (9)$$

где i – вариант развития транспортного процесса в городской среде.

Помимо матричной формы, состояние транспортной системы в условиях городской среды может быть представлено в виде линейной модели:

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_{1-I} & x_{1-II} & x_{1-III} & x_{1-IV} \\ x_{2-I} & x_{2-II} & x_{2-III} & x_{2-IV} \\ x_{3-I} & x_{3-II} & x_{3-III} & x_{3-IV} \\ x_{4-I} & x_{4-II} & x_{4-III} & x_{4-IV} \end{vmatrix} \quad (10)$$

где x_{i-j} – состояние транспортной системы в фазовых переходах в условиях конфликтных транспортных потоков в городской среде.

Представленная выше матричная модель является основой для экспериментальной апробации предложенного механизма управления конфликтными транспортными потоками в реальных условиях с учетом особенностей городской среды промышленного узла.

Выводы. Разработанный механизм обеспечения эффективности управления конфликтными транспортными потоками в условиях городской среды является адаптивным. Также он учитывает особенности структуры транспортного потока промышленного узла. Решения, выработанные с применением данного механизма, должны обеспечивать упреждение негативных транспортных ситуаций.

В заключение целесообразно процитировать одного из ведущих специалистов в области транспортного моделирования Деноса Газиса, который еще в 1972 г. определил главный принцип моделей управления (распределения) транспортных потоков [7, с. 475]: «Мы создали сложную математическую теорию по поводу того, что делать с массой автомобилей, которая скопилась на ограниченном пространстве улично-дорожной сети городских центров, и выработали на ее основе некоторые полезные инженерные рецепты. Но для дальнейшего продвижения нам невозможно избежать вопроса: может быть, лучше всем этим автомобилям одновременно там не собираться?».

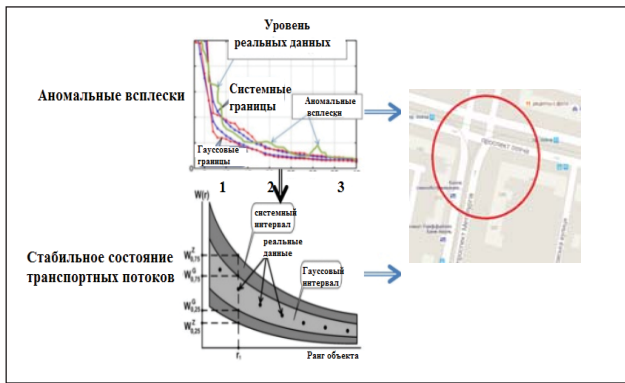


Рис. 3. Результаты исследований стабильности фазовых состояний транспортных потоков (на примере участка промышленного района г. Мариуполя)

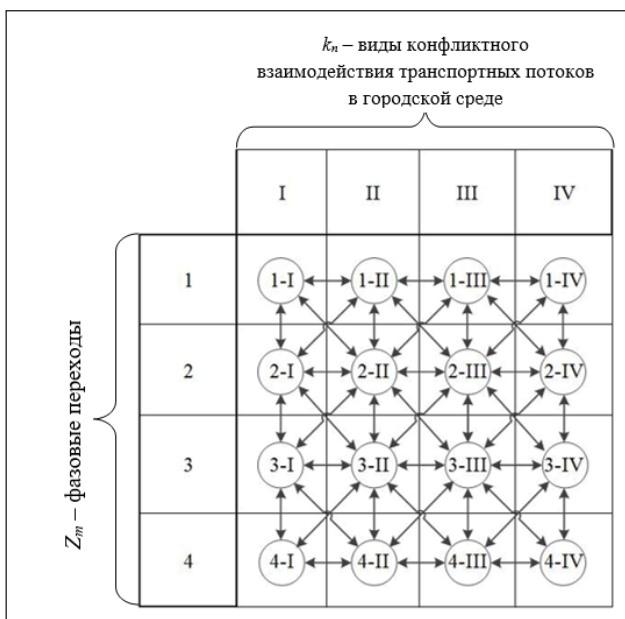


Рис. 4. Адапционная базисная матричная модель управления транспортными потоками в точках фазового перехода в условиях городской среды

Список литературы:

1. Ukrainskyi Ye. Information management systems by commercial transport flows in the city logistics environment. Transport problems 2013: Materials of the V international conference (Katowice, 26–28 of June 2013). Katowice, 2013. P. 455–460.
2. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. Москва: ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, 2006. 32 с.
3. Hubenko V.K., Lyamzin A.A., Hara M.V. The effectiveness of the route network of industrial zones in the urban logistics. Transport problems 2013: Materials of the V international conference (Katowice, 26–28 of June 2013). Katowice, 2013. P. 150–156.
4. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий. Инженерный вестник Дона. 2011. № 4. С. 548–551. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709>.
5. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Berlin: Springer, 2009. 265 p.
6. Bob Rupert, Jim Wright, Pierre Pretorius, Greg Cook and others. Traveler Information Systems in Europe. Office of International Programs Publications. 2003. URL: <https://international.fhwa.dot.gov/travelinfo>.
7. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. Москва, 2011. 576 с.

**МЕХАНІЗМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ КОНФЛІКТНИМИ
ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА**

У статті досліджуються механізми керування транспортними потоками з урахуванням динаміки стану транспортної системи міста. Наведено графічну і математичну формалізацію фазових станів і переходів конфліктних транспортних потоків, розроблено базисну модель управління цими потоками у фазових переходах.

Ключові слова: конфліктні транспортні потоки, фазовий перехід, коефіцієнт реверсивності, матрична модель, стан транспортної системи.

**EFFICIENCY MECHANISM OF CONFLICT TRANSPORT FLOWS
MANAGEMENT IN URBAN ENVIRONMENT**

The approaches and mechanisms of transport flows management taking into account the dynamics of the urban transport system state are investigated in the article. Graphical and mathematical formalization of phase states and transitions of the conflict traffic flows is presented. The basic model of traffic flows control in phase transitions is developed.

Key words: conflict traffic flow, phase transition, coefficient of reversibility, matrix model, transport system state.