

5. Magento eCommerce Platform for Growth [Электронный ресурс] – Режим доступа : www.magentocommerce.com – 08.05.2012 г. – Загл. с экрана.
6. A powerful open source shopping cart system that is designed feature rich and user friendly [Электронный ресурс] – Режим доступа : www.opencart.com – 08.05.2012 г. – Загл. с экрана.
7. osCommerce Open Source E-Commerce Solutions [Электронный ресурс] – Режим доступа : www.oscommerce.com – 08.05.2012 г. – Загл. с экрана.
8. Zen Cart the art of e-commerce [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.zen-cart.com – 08.05.2012 г. – Загл. с экрана.
9. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / под ред. А. А. Барсегяна, М. С. Куприянова, В. В. Степаненко, И. И. Холода. – Спб. : БХВ Петербург, 2004. – 368 с.
10. Фомин, Г. П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности / Г. П. Фомин. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 544 с.
11. Мамаева, З. М. Математические методы и модели в экономике. Часть 2. Эконометрика : учебно-методическое пособие / З. М. Мамаева. – Нижний Новгород: ННГУ, 2010. – 70 с.
12. Глівенко, С. В. Економічне прогнозування: навчальний посібник / С. В. Глівенко, М. О. Соколов, О. М. Теліженко. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Суми : Видавництво «Університетська книга», 2001. – 207 с.
13. Владимірова, Л. П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка : учеб. пособие / Л.П. Владимірова; Рецензент: С. Р. Малютин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом «Дашков и К», 2001. – 308 с.
14. Грейди Буч, Язык UML. Руководство пользователя / Грейди Буч, Джеймс Рамбо, Айвар Джекобсон; пер. с англ. А. А. Слинкин. – 2-е изд., стер. – М.: ДМК Пресс; Спб.: Питер, 2004. – 432 с.
15. Леоненков А. В. Самоучитель UML / А. В. Леоненков. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432 с.

Розглядається граничний режим руху транспортного потоку при переході його стану від щільного синхронізованого в затор, а також умови утворення та запобігання заторів на перегонах вулично-дорожньої мережі

Ключові слова: транспортний потік, фази стану потоків, дорожня мережа, затор

Рассматривается граничный режим движения транспортного потока при переходе его состояния от плотного синхронизированного в затор, а также условия образования и предотвращения заторов на перегонах улично-дорожной сети

Ключевые слова: транспортный поток, фазы состояния потоков, дорожная сеть, затор

The boundary mode of movement of a traffic flow upon transition of its condition from dense synchronized in congestion is defined, and conditions of formation and prevention of congestion on road network hauls

Keywords: traffic flow, phases of flow conditions, road network, congestion

УДК 656.13

ОБ ОБРАЗОВАНИИ И УСТРАНЕНИИ ЗАТОРОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Е. М. Гецович

Доктор технических наук*

E-mail: kaf_ts.kharkov@mail.ru

О. А. Бочарова

Ассистент*

E-mail: bocharovaoksana@rambler.ru

*Кафедра организации и безопасности

дорожного движения

Харьковский национальный автомобильно-

дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61001

1. Введение

Существенное повышение уровня автомобилизации в сочетании с ограниченными возможностями реконструкции и развития улично-дорожных сетей городов (УДС) вызывает значительное увеличение плотности транспортных потоков и, как следствие, периодическое возникновение предзаторовых и заторовых ситуаций на отдельных участках УДС.

Рассмотрению вопросов, связанных с образованием, предотвращением и устранением заторов в транспортных потоках, посвящено множество работ [1-5]. Наиболее подробно механизм образования заторов рассмотрен Б.С. Кернером в созданной им на основе многочисленных экспериментальных исследований теории трех фаз состояния транспортного потока [6,7]. В соответствии с этой теорией возможны три фазы:

- фаза F (free flow) – свободно движущийся поток, в котором расстояние между следующими один за другим автомобилями больше дистанции безопасности и у водителей есть свобода выбора скоростного режима;

- фаза S (synchronized flow) синхронизированный поток, в котором автомобили движутся один за другим на дистанции безопасности, а скорость движения зависит от плотности транспортного потока;

- фаза J (фаза jam) синхронизированный поток, в котором скорость близка к 0 (возможно, с периодической остановкой – режим «старт-стоп»).

Собственно фаза J и есть затор. А фазовый переход S→J - процесс образования затора. Не изученными в полной мере остаются вопросы, связанные с решением задачи предотвращения и ликвидации затора, не сформулирован количественный критерий, разделяющий фазы S и J. Кроме того, Б.С.Кернер рассматривал все процессы на скоростных автомагистралях, в то время как движение транспортных потоков по плотным УДС городов существенно отличается.

Цель данного исследования заключается в определении границы между фазами S и J изучении особенностей образования и устранения («разрыхления») фазы J на перегонах УДС.

2. Исследование механизма образования и устранения заторов на УДС

Известно, что основные параметры транспортного потока связаны соотношением

$$Q = V \cdot \rho, \tag{1}$$

где Q – интенсивность потока, авт/ч;

V - скорость потока, км/ч;

ρ - плотность потока, авт/км.

В фазе S плотность потока

$$\rho = \frac{1000}{l_0 + l_a}, \tag{2}$$

где l_0 - дистанция безопасности, м;

l_a - усредненная длина автомобиля, м.

Для упрощения примем $l_0 = \frac{V}{2}$, где V - в км/ч, тогда

$$\rho = \frac{1000}{0,5 \cdot V + l_a} \tag{3}$$

или

$$V = 2 \cdot \left(\frac{1000}{\rho} - l_a \right). \tag{4}$$

Из (4) видно, что по мере увеличения плотности потока скорость потока вынужденно (для обеспечения дистанции безопасности) снижается, а при

$$\frac{1000}{\rho} - l_a = 0 \text{ или } \rho = \frac{1000}{l_a} \text{ и } V = 0 \tag{5}$$

образуется «идеальная» пробка (бампер к бамперу) и дальнейшее движение становится невозможно.

Переход от условия (4) к условию (5) по мере роста ρ не может произойти мгновенно, поскольку минимальная скорость движения автомобиля определяется минимально устойчивым числом оборотов двигателя. Поэтому при снижении скорости потока до

$$V < V_{\text{minycr}} \tag{6}$$

движение возможно только при чередовании трогания и остановки (режим «старт-стоп»). Следовательно, условие (6) и определяет переход от фазы S к фазе J. Поскольку V_{minycr} у автомобилей не одинаково, критерием S→J перехода следует считать переход от медленного безостановочного режима в режим «старт-стоп».

Причиной повышения плотности и снижения скорости потока все авторы считают любое условное сужение дороги (bottleneck). На магистралях это могут быть участки ремонта дорог, места дорожно-транспортных происшествий, медленно движущееся транспортное средство, «стоп-контроль» и т.п. На УДС городов условное сужение дороги обусловлено также наличием перекрестков, пешеходных переходов и фактическим сужением - оставшейся для проезда ширины полосы движения из-за припаркованных вдоль нее автомобилей. Часть потока, проследовавшая через зону сужения, может «разрыхлиться», то есть двигаться в фазе S с большей скоростью и меньшей плотностью, чем перед сужением, или даже перейти в фазу F, что зависит от пропускной способности сужения дороги и степени ее использования водителями.

Для определения максимально возможной пропускной способности условного сужения дороги, например, типа «регулируемый перекресток», рассмотрим процесс трогания и разгона автомобилей из очереди перед «стоп-линией» (рис. 1).

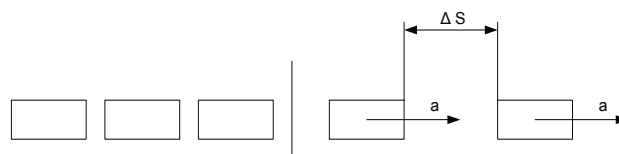


Рис. 1. Схема трогания и разгона автомобилей из очереди

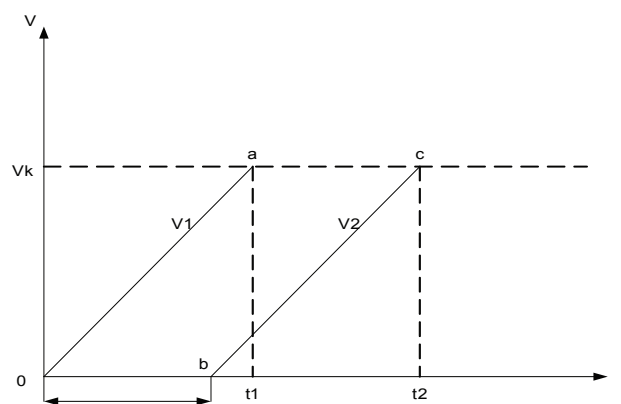


Рис. 2. К определению минимальной разновременности трогания из очереди

При включении разрешающего сигнала первый автомобиль трогается, пересекает стоп-линию и разгоняется с ускорением a . Остальные автомобили тоже трогаются и с относительно малой скоростью подъезжают к стоп-линии и с задержкой τ по отношению к первому автомобилю начинает разгоняться второй автомобиль (см. рис. 2). Определим минимально допустимое значение τ при допущении, что второй автомобиль разгоняется с тем же ускорением, что и первый.

Определим минимальное значение τ из условия соблюдения дистанции безопасности в любой момент времени t . Это условие в формализованном виде имеет вид

$$\Delta S = S_1(t_2) - S_2(t_2) \geq \frac{V_k}{2}, \quad (7)$$

где V_k – конечная скорость, км/ч.
Подставив в (7)

$$S_1(t_2) = S_1(t_1) + \frac{V_k}{3,6} \cdot \tau \quad (8)$$

и из равенства треугольников $0at_1$ и bct_2

$$S_2(t_2) = S_1(t_1), \quad (9)$$

получим $\tau \geq 1,8A$

Следовательно, минимальный интервал времени между началом разгона предыдущего и началом разгона последующего автомобиля не зависит от среднего ускорения потока и скорости, до которой он разгоняется. На практике принимают $\tau_{\min} = 2c$ [8].

Отметим, что при $\tau = \tau_{\min}$ после условного сужения дороги образуется синхронизированный поток, а при $\tau_{\min} < \tau$ возможно образование свободного потока. При этом максимально возможная интенсивность потока после сужения дороги

$$Q_{\max} = \frac{3600}{2} = 1800, \quad (10)$$

что соответствует максимуму фундаментальной диаграммы состояния потока при $l_a \rightarrow 0$ [6]. Величина Q_{\max} определяет пропускную способность сужения дороги и является ее пределом. Фактическая пропускная способность будет меньше и определяется соотношением

$$Q_{\text{усд}} = K_\tau \cdot Q_{\max}, \quad (11)$$

где $Q_{\text{усд}}$ – пропускная способность условного сужения дороги;

K_τ – коэффициент времени пропуска автомобилей через условное сужение дороги.

Величина K_τ , например, для регулируемого перекрестка, составляет

$$K_\tau = \frac{\tau_p}{T}, \quad (12)$$

где τ_p – продолжительность разрешающей фазы;
 T – период цикла регулирования.

Для не регулируемых перекрестков и пешеходных переходов K_τ является величиной случайной, зависимой от интенсивностей пересекаемых транспортных и пешеходных потоков. Распределение вероятностей значений K_τ для таких сужений дороги подлежит эмпирическому определению.

Очевидно, что при наличии ограниченности пропускной способности на выходе из перегона УДС значением $Q_{\text{усд}}$ условием не переполнения перегона (предотвращения образования затора на перегоне) является

$$Q_{\text{вх}} \leq K_\tau \cdot Q_{\max}, \text{ или } Q_{\text{вх}} - K_\tau \cdot Q_{\max} \leq 0, \quad (13)$$

где $Q_{\text{вх}}$ – интенсивность потока на входе в перегон.

В случае, если условие (13) не выполняется, на перегоне происходит накопление автомобилей с интенсивностью

$$\Delta Q = Q_{\text{вх}} - K_\tau \cdot Q_{\max}, \quad (14)$$

Максимальное время заполнения перегона (при условии, что при $t=0$ перегон был пуст)

$$t_{\max} = \frac{L_{\text{п}}}{(Q_{\text{вх}} - K_\tau \cdot Q_{\max}) \cdot l_{\text{ан}}}, \quad (15)$$

где L – длина перегона;

$l_{\text{ан}}$ – средняя условная длина автомобиля с учетом расстояния до сзади стоящего в очереди (пробке).

После заполнения перегона образуется затор на входе в перегон, а «хвост» очереди может перекрыть перекресток перед перегонем. Предотвратить переполнение перегона и образование затора, как следует из условия (13), можно либо за счет уменьшения $Q_{\text{вх}}$ (перекоммутация транспортного потока на подходе к перегону) либо за счет увеличения K_τ (изменение цикла регулирования, организация расширительной полосы перед и за перекрестком).

Выполненные исследования позволяют определить граничный режим движения транспортного потока при переходе его состояния от плотного синхронизированного в затор, а также условия образования и предотвращения заторов на перегонах УДС.

Литература

1. Newell G.F. A moving bottleneck // Transp. Res. B. 1998. V.32. P.531-537.
2. Gazis D.C., Traffic Theory. Berlin: Springer, 2002.
3. Nagatani T. The physics of traffic jams // Rep. Prog. Phys. 2002. V.65. P.1331-1386.
4. Kerner B.S., Klenov S.L., Hiller A., Rehborn H, Microscopic features of moving traffic jams // Phys. Rev. E. 2007. V.73. 046107.
5. Kerner B.S. A theory of traffic congestion at heavy bottlenecks // J. Phys. A: Math. Theor. 2008. V. 41.
6. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Berlin: Springer, 2009.
7. Kerner B.S. The Physics of Traffic. Berlin: Springer, 2004.
8. Живогляднов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.Кавк. регион», 2005.-1082с.