

*Л.С. АБРАМОВА*, канд. техн. наук, ХНАДУ,  
*А.В. РОГОВ*, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Представлено математичну модель і результати моделювання транспортного потоку, що дозволяє аналізувати вплив змінних обмежників швидкості на ефективність погашення ударних хвиль на транспортній магістралі. Показано блок-схему алгоритму, методику моделювання й результати програмної реалізації представленої моделі.

A mathematical model and results of design of a transport stream is presented, allowing to analyse influence of variable terminators of speed on efficiency of redemption of shock waves on a transport highway. The flow-chart of algorithm, design method and results of programmatic realization of the presented model, is showed.

**Постановка проблемы.** Резкий рост автомобилизации, наблюдающийся в последнее десятилетие в городах Украины, ведет к обострению всего комплекса транспортных проблем: снижению скоростей движения транспорта, заторам, росту аварийности, ухудшению экологических показателей, характеризующих уровень окружающей среды.

Радикального улучшения условий движения транспорта в городе на длительную перспективу можно достичь при осуществлении мер градостроительного характера: строительством мостов, тоннелей, пробивкой новых магистралей. Осуществление таких проектов требует значительных финансовых вложений и затрат времени. Анализ показывает, что значительно смягчить ситуацию позволит комплекс мероприятий, связанных с усовершенствованием управления транспортными потоками в городе – внедрением автоматизированных систем управления транспортными потоками на улично-дорожной сети городов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Транспортный поток (ТП) на дорожной сети как объект управления относится к структурно-сложным объектам высокой размерности, состоящий из набора взаимосвязанных подсистем – LSS (large scale systems).

Современные методы управления ТП основаны на представлении транспортных потоков в виде моделей микро- и макроструктуры [1]. Макроструктура представляет взаимосвязи параметров потока – скорость, плотность, интенсивность. Макромодели описывают вероятностное состояние потока в целом. К макроскопическим моделям относятся распределенные модели, модели формирования групп автотранспортных средств и газокинетические модели [2].

Под микроструктурой понимают модель, имитирующую поток как совокупность отдельных транспортных единиц. В микромоделях необходимо

учитывать дистанцию безопасности следующих друг за другом автомобилей и скорость их движения.

**Нерешенные составляющие общей проблемы.** Примером известных компьютерных моделей микромоделирования является пакет VISSIM [3]. Но его применение не дает возможности моделирования заторовых или предзаторовых ситуаций, что приводит к образованию так называемых «ударных волн» [4].

**Цель статьи.** Разработка моделей изменения параметров движения транспортных средств в плотном потоке по УДС городов даст возможность детально изучить природу образования заторовых ситуаций. Исходя из вышесказанного, задача создания новых имитационных или иных систем моделирования движения автомобильного транспорта в городах является актуальной.

**Изложение основного материала исследований.** Предлагаемая модель описывает поведение транспортного потока и относится к типу микроскопических моделей, основными параметрами которых являются дистанция безопасности автомобилей ( $S$ ) и скорость их движения в потоке ( $V$ ). Изменение скорости транспортного средства описано двумя режимами детерминированной модели: ускорением ( $a_1$ ) до достижения рекомендуемой скорости движения или замедлением ( $a_2$ ), чтобы избежать столкновения с впереди идущим автомобилем. Третий возможный режим моделирования – определение вынужденного замедления ( $j$ ) в случае неспособности поддерживать постоянную скорость в потоке размером  $n$ .

Математическая модель представлена в виде матрицы  $A$ , каждый элемент которой отображает параметры движения отдельного транспортного средства ( $Xn$ ) – ускорение ( $\ddot{X}$ ), скорость ( $\dot{X}$ ), текущую координату перемещения ( $X$ ) и счетчик времени импульса ( $j$ ):

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \ddot{x}_1 & \ddot{x}_2 & \ddot{x}_3 & \dots & \ddot{x}_n \\ \dot{x}_1 & \dot{x}_2 & \dot{x}_3 & \dots & \dot{x}_n \\ j_1 & j_2 & j_3 & \dots & j_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Процесс моделирования заключается в численном интегрировании элементов матрицы  $A$ . на каждом шаге интегрирования выполняются следующие действия:

1.

$$n = 0 \vee x_n > \Gamma \rightarrow \begin{cases} n = n + 1 \\ x_n = \ddot{x}_n = \dot{x}_n = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  – параметр генератора импульсов.

2.

$$\forall n : x_n > 12000 \rightarrow n = n - 1, \quad (3)$$

где 12000 – длина рассматриваемого участка УДС (м).

3.

$$\forall n \rightarrow \begin{cases} (x_{n-1} - x_n > [S]) \wedge [|\dot{x}_n| < V_{\text{lim}}(x_n)] \rightarrow \ddot{x}_n = a(\dot{x}_n) \cdot a_{1\text{max}} \\ |\dot{x}_n| > V_{\text{lim}}(x_n) \rightarrow \ddot{x}_n = -0,25 \cdot a_{2\text{max}} \\ (x_{n-1} - x_n \leq [S]) \vee (x_{n-1} - x_n \leq S_{\text{min}}) \vee (j_n > 0) \rightarrow \ddot{x}_n = -a_{2\text{max}} \end{cases} \quad (4)$$

4.

$$\forall n \rightarrow \begin{cases} \dot{x}_n = \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n \\ \dot{x}_n < 0 \rightarrow \dot{x}_n = 0 \\ x_n = x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n \\ j_n = j_n - \Delta t \\ j_n < 0 \rightarrow j_n = 0 \end{cases} \quad (5)$$

С точки зрения безопасности движения, требуемая дистанция безопасности вычисляется таким образом, чтобы в случае внезапного останова впереди идущего транспортного средства текущий автомобиль успел затормозить с ускорением  $a_{2\text{max}}$  и остановиться за 1 м до него:

$$S = L + 1 + \frac{\dot{x}_n^2}{a_{2\text{min}}}, \quad (6)$$

где  $L$  – длина автомобиля,  $L = 3$  м.

Программное обеспечение для модели поведения транспортного потока реализовано в интегрированной среде разработки приложений Delphi 7.0.

В процессе моделирования пользователь может создать возмущающий импульс, на время действия которого останавливается один из автомобилей (на 10-м километре трассы), что приводит к образованию «ударной волны» (рис. 1).

Исходными данными для модели являются следующие параметры:

– максимальная техническая скорость транспортного средства  $V_{\text{max}}$ , по умолчанию 170 км/ч;

– максимальное ускорение при разгоне,  $a_{1\text{max}}$ , по умолчанию 3 м/с<sup>2</sup>;

– максимальное ускорение при торможении,  $a_{2\text{max}}$ , по умолчанию 5 м/с<sup>2</sup>;

– продолжительность возмущающего импульса,  $T_{\text{и}}$ , по умолчанию 600 с;

– минимальная дистанция при трогании с места,  $S_{\text{min}}$ , по умолчанию 10 м.

- набор ограниченный скоростей на каждом километре магистрали,  $V_{lim}$ , по умолчанию все ограничения равны 60 км/ч;
- расстояние, которое необходимо преодолеть последнему сгенерированному автомобилю, чтобы был создан следующий,  $S_T$ , по умолчанию 15 м.

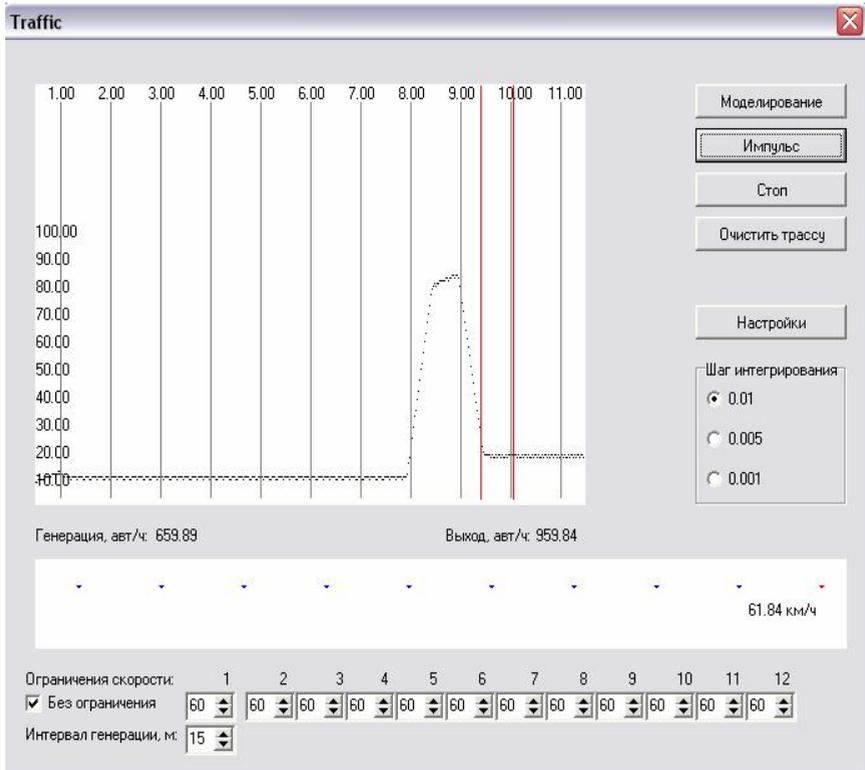


Рис. 1 – Главная экранная форма программной реализации модели транспортного потока

Ускорение транспортного средства моделируется близко к реальной разгонной характеристике, на основании зависимости нормированного крутящего момента двигателя  $M \in [0;1]$  от нормированной угловой скорости коленчатого вала  $w \in [0;1]$  (данные нормированные величины не имеют размерности, рис. 2).

$$M(w) = 1 - (w - 0,5)^2 \quad (7)$$

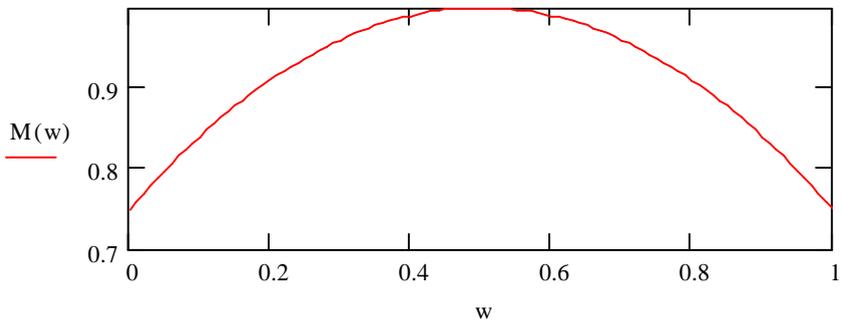


Рис. 2 - Нормированная зависимость момента двигателя от угловой скорости вала

Передаточные отношения коробки передач (в данном случае 4-х скоростной) принимаются соответственно  $i = (1,2; 1,7; 3,0; 4,4)$ . С помощью нормированной характеристики двигателя и передаточных отношений можно определить зависимость ускорения от текущей скорости автомобиля (рис. 3)

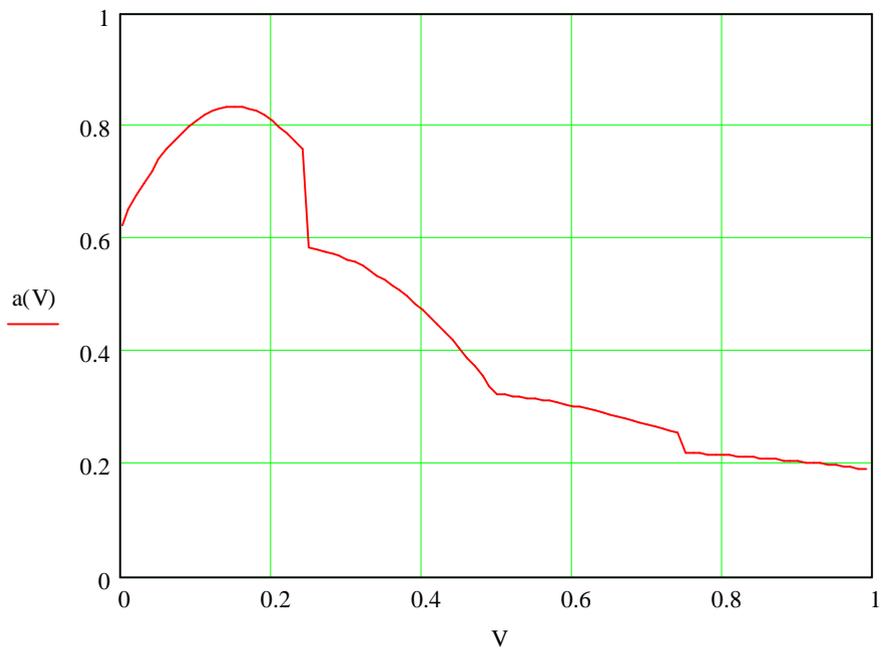


Рис. 3 – Нормированная зависимость ускорения автомобиля от скорости

Все величины нормированные, т.е.  $V = 1$  соответствует максимальной скорости движения (170 км/ч по умолчанию),  $a(V) = 1$  соответствует максимальному ускорению (3 м/с<sup>2</sup>). Данная зависимость вычисляется следующим образом:

$$a(V) = a_{\max} \cdot M\left(\frac{4 \cdot V}{i_{\min([4V]+1;1)}}\right) \quad (8)$$

Укрупненная блок-схема алгоритма модели представлена на рис. 4.

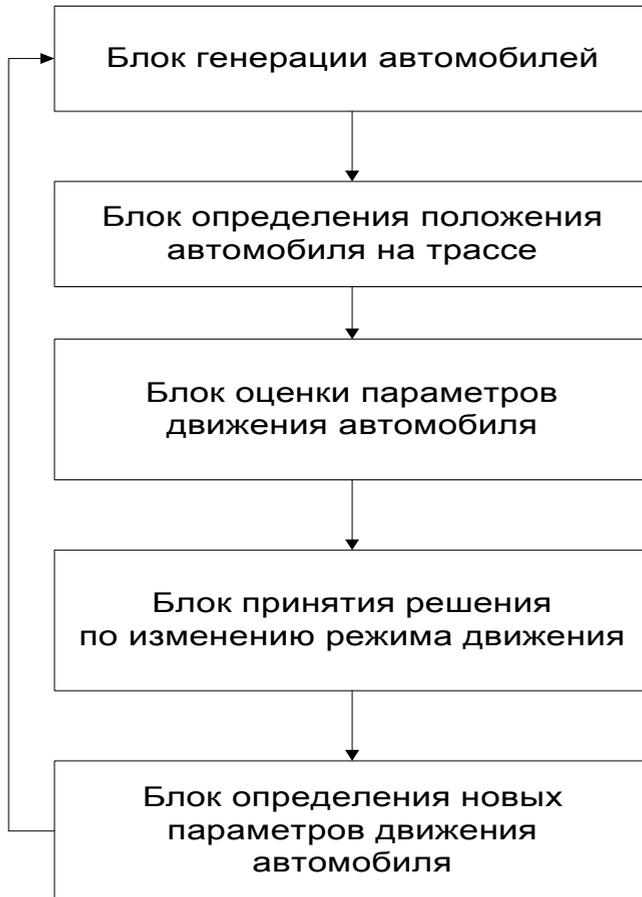


Рис. 4 – Блок-схема алгоритма модели

В блоке генерации автомобилей проверяется условие возможности генерации нового автомобиля и включения его в общую математическую модель. Условие возможности генерации автомобиля – достаточное расстояние между последним сгенерированным автомобилем и началом координат. Новый автомобиль генерируется в начале координат с нулевой скоростью и ускорением.

В блоке определения положения автомобиля на трассе выполняется проверка нахождения автомобиля в пределах трассы (до 12км). В случае превышения текущей координаты (положения) автомобиля максимального значения 12 км автомобиль выводится из общей математической модели и не участвует в процессе моделирования.

В блоке оценки параметров движения автомобиля оценивается взаимное расположение автомобилей (текущий и впереди идущий) и учитывается ограничение скорости на данном участке трассы.

В блоке принятия решения по изменению режима движения в зависимости от параметров движения принимается решение о возможности разгона, необходимости торможения или экстренного торможения.

В блоке определения новых параметров движения автомобиля на основании принятого решения путем интегрирования ускорения определяется новая скорость и положение автомобиля на трассе.

**Выводы.** Особенностью предложенной модели является возможность в режиме диалога исследовать влияние возмущающих воздействий (таких как транспортные задержки на пересечении, ДТП) на изменение основных параметров транспортного потока.

Таким образом, предложенная математическая модель является эффективным инструментом в процессе исследования ударных волн при движении транспортного потока с целью формирования управляющих воздействий системы управления дорожным движением.

**Список литературы:** 1. Хейм Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 286 с. 2. M.Papageorgiou, M. Messmer “Dynamic network traffic assignment and route guidance via feedback regulation” // Transportation Research Record, vol. 1306, pp. 49-58, 1991. 3. PTV, “Vissim – traffic flow simulation” Tech.rep., PTV Germany, 2003. <http://www.ptv.de> 4. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением / Под ред. М.Я. Блинкина: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

Поступила в редколлегию 25.11.08