

УДК 004.93'12

В.В. Поздняков, С.Е. Швец, А.В. Протодьяконов

## МОДЕЛЬ СЛЕДОВАНИЯ КАК ЧАСТЬ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Моделирование транспортных потоков является одним из способов решения транспортных проблем. Общепризнанным подходом к моделированию транспортных потоков является микроимитационное моделирование. В модель закладывается алгоритм поведения автомобиля, структура транспортной сети и другие входные данные. Обычно модель разбивается на несколько подмоделей, что позволяет детально прорабатывать каждый аспект поведения автомобилей.

В КузГТУ разрабатывается система моделирования транспортных потоков, использующая аналогичный подход. В основе указанной системы лежит микроимитационная модель, состоящая из следующих компонентов:

- модель следования (расчет ускорения автомобиля в зависимости от поведения автомобиля-лидера на той же полосе);
- модель смены полосы (вычисление необходимости смены полосы, проверка возможности перестроения и т.д.);
- модель вычисления маршрута (вычисление маршрута из одной точки в другую);
- модель топологии улично-дорожной сети (позволяет задавать приближенные к реальности характеристики дорожной сети, является основой для модели вычисления маршрута).

### УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СЛЕДОВАНИЯ

Модель следования является наиболее важной из перечисленного выше, т.к. она в большой степени определяет результаты моделирования. В рамках данного исследования была разработана упрощенная модель следования автомобилей, а также создана программная платформа для легкой интеграции существующих моделей.

Упрощенная модель следования определяет три режима: свободное движение, приближение и экстренное торможение. Наиболее важными аспектами являются:

- Безопасная дистанция (минимальный интервал между автомобилями необходимый для реакции на действия водителя). Если следующий водитель приближается ближе, то он переходит в режим экстренного торможения. Параметром для калибровки служит безопасный интервал, который задается в секундах ( $T_{safe}$ ), безопасная дистанция вычисляется следующим образом:

$$S_{safe} = v_{leader} \cdot T_{safe},$$

где  $v_{leader}$  - скорость автомобиля лидера,

$T_{safe}$  - калибровочный параметр безопасный

интервал.

- Дистанция комфортного торможения. Нормальное торможение автомобиля имеет определенное значение, следовательно, необходимо знать расстояние, на котором необходимо начать тормозить, чтобы успеть синхронизировать скорость с лидером.

$$S_{comf} = \frac{v_{follower}^2 - v_{leader}^2}{2 \cdot a_{comf}},$$

где  $v_{leader}$ ,  $v_{follower}$  - скорости лидера и следующего автомобиля, соответственно;

$a_{comf}$  - нормальное (комфортное) торможение следующего автомобиля.

Если дистанция до лидера меньше суммы дистанции комфортного торможения и безопасной дистанции ( $S_{comf} + S_{safe}$ ), то это соответствует режиму «приближение». Ускорение рассчитывается по следующей формуле:

$$a = \frac{v_{leader}^2 - v_{follower}^2}{2 \cdot (S - S_{safe})},$$

где  $S$  – это дистанция между автомобилями.

Если дистанция до лидера меньше суммы дистанции комфортного торможения и безопасной дистанции ( $S_{comf} + S_{safe}$ ), это означает, что автомобиль находится в свободном режиме и стремится набрать желаемую скорость.

В рамках данной статьи мы рассмотрим сравнение упрощенной модели следования с одной из наиболее актуальных на сегодняшний момент.

### МОДЕЛЬ IDM (INTELLIGENT DRIVER MODEL)

IDM – это модель следования автомобилей, разработанная в 2000 году Helbing, Hennecke и Treiber [1] для улучшения результатов других интеллектуальных моделей, например Gipps [2]. Она применяется для моделирования движения по шоссе и в городских условиях и описывает динамику позиции и скорости определенного автомобиля.

Решение любого водителя разгоняться или тормозить зависит только от его скорости и от скорости впереди идущего транспортного средства. Конкретно ускорение данного водителя зависит от его скорости  $v$ , от расстояния  $s$  до впереди идущего автомобиля и от разности скоростей Delta  $v$  (которая является положительной при сближении транспортных средств):

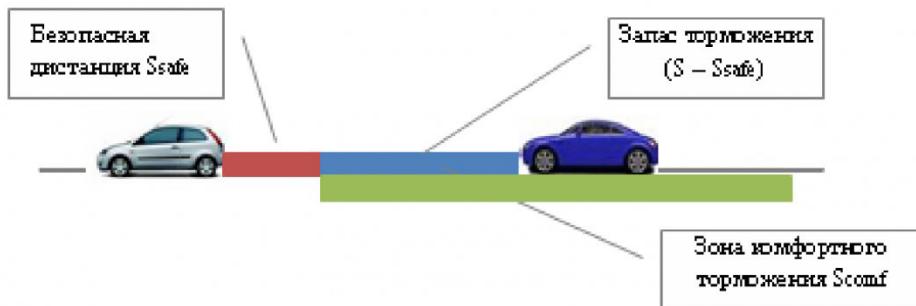


Рис. 1. Автомобиль попал в зону комфорtnого торможения (режим приближения)

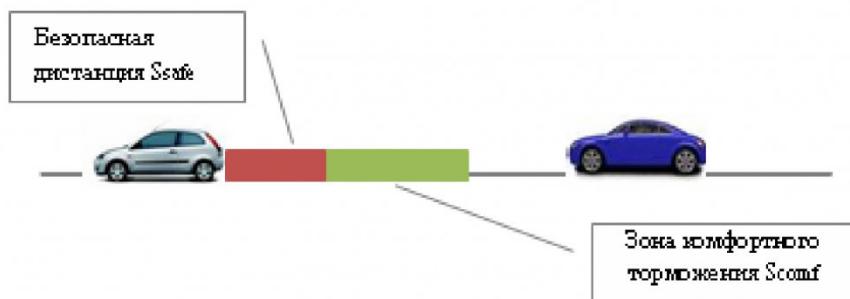


Рис. 2. Автомобиль не попал в зону комфорtnого торможения (свободный режим).

$$\frac{dv}{dt} = a \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^{\delta} - \left( \frac{s^*}{s} \right)^2 \right],$$

где

$$s^* = s_0 + \left( vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \right)$$

Ускорение разделяется на «желаемое» - на свободной дороге – и на торможение, вызванное замедлением впереди идущего автомобиля. Ускорение на свободной дороге уменьшается от начального ускорения до 0 по мере приближения транспортного средства к «желаемой скорости»  $v_0$ .

Необходимость торможения определяется сравнением между «желаемой дистанцией движения»  $s^*$  и текущим окном  $s$  до переднего автомобиля. Если эти величины приблизительно равны, водитель транспортного средства не испытывает потребности увеличить текущее окно до желаемого, применив торможение, поэтому, результирующее ускорение примерно равно нулю. Кроме того,  $s^*$  увеличивается при приближении к медленной машине и уменьшается, когда впереди идущая машина движется быстрее. Как следствие, торможение возрастает при

- уменьшении дистанции до впереди идущего автомобиля (необходимость поддержания

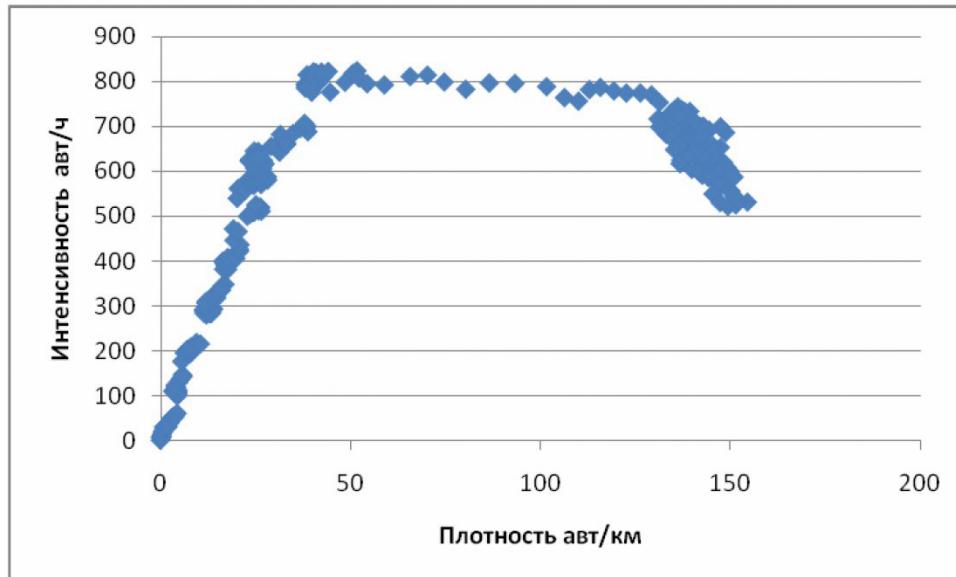


Рис. 3 Основная диаграмма транспортного потока для модели IDM.

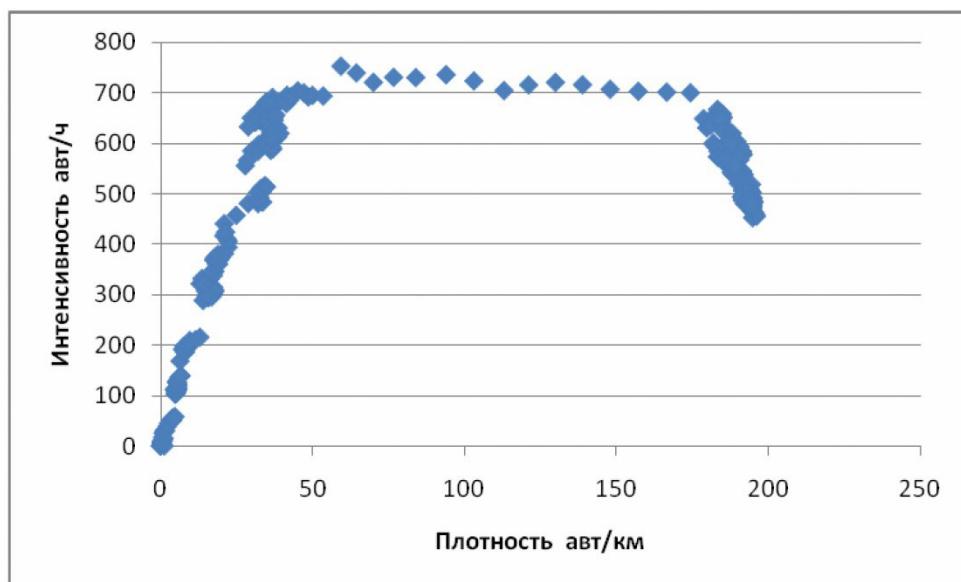


Рис. 4 Основная диаграмма транспортного потока для упрощенной модели следования.

«безопасной дистанции»),

- увеличении собственной скорости (увеличение «безопасной дистанции»),
- увеличение разности скоростей до впереди идущего автомобиля (при приближении к впереди идущему автомобилю со слишком большой скоростью, опасная ситуация может произойти).

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СЛЕДОВАНИЯ

Для оценки разработанной модели следования был произведен вычислительный эксперимент на базе системы, разрабатываемой в КузГТУ. Оценка осуществлялась с помощью основной диаграммы транспортного потока. Была построена модель

перекрестка ул. 50 лет октября – ул. Красноармейская в г. Кемерово. Подбор параметров модели осуществлялся с помощью генетического алгоритма [3]. Нагрузка транспортной сети имела нарастающий характер с 0 авт/ч до 1200 авт/ч на полосу. Датчики располагались на левой полосе по восточному направлению. По данным, полученным с датчиков, были построены графики (рис. 3-4).

Сравнивая полученные графики можно уверенно говорить о сходном характере движения автомобилей, создаваемого вышеописанными моделями. Данное наблюдение позволяет сделать предположение о возможности дальнейшего использования разработанной модели в области моделирования транспортных потоков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Treiber, Martin; Hennecke, Ansgar; Helbing, Dirk (2000), "Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations", Physical Review E 62 (2): 1805–1824, doi:10.1103/PhysRevE.62.1805
2. Gipps, P.G. 1981 A behavioural car-following model for computer simulation. Transportation Research Board Part B, 15, 105-111
3. Подбор параметров имитационной модели дорожного движения с помощью генетического алгоритма / Фомин А. Н., Протодьяконов А. В., Швец С. Е. – : Вестн. Кузбасского гос. тех. унив , 2010. № 3. С. 68-70.

□ Авторы статьи:

Поздняков

Владислав Витальевич

- аспирант каф. информационных и автоматизированных производственных систем КузГТУ

Email: [hackward@gmail.com](mailto:hackward@gmail.com)

Тел. +79049978012

Швец

Сергей Евгеньевич

- аспирант каф. информационных и автоматизированных производственных систем КузГТУ

Email: [justserega@gmail.com](mailto:justserega@gmail.com)

Тел.+79235123455

Протодьяконов

Андрей Владимирович

- канд.техн.наук., доц, каф. информационных и автоматизированных производственных систем КузГТУ

Тел. 8-3842-58-08-11