

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТОРОВЫХ СИТУАЦИЙ ПО УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Л.С. Абрамова, доцент, к.т.н., В.В. Ширин, ассистент, ХНАДУ

*Аннотация.* Предложена имитационная модель заторовых ситуаций по улично-дорожной сети, которая позволяет ликвидировать их в кратчайшие сроки или не допускать возникновения.

*Ключевые слова:* улично-дорожная сеть, транспортный поток, ударная волна, имитационная модель.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТОРОВИХ СИТУАЦІЙ ПО ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Л.С. Абрамова, доцент, к.т.н., В.В. Ширін, асистент, ХНАДУ

*Анотація.* Запропоновано імітаційну модель заторових ситуацій по вулично-дорожній мережі, яка дозволяє ліквідувати їх в найкоротший термін або не допускати виникнення.

*Ключові слова:* вулично-дорожня мережа, транспортний потік, ударна хвиля, імітаційна модель.

## MODELING OF CONGESTION CONDITIONS ON ROAD NET

L. Abramova, associate professor, cand. eng. sc., V. Shirin, post graduate student, KhNAHU

*Abstract.* The simulation model of congestion conditions on the road net that allows to liquidate them within a short time limit or prevent their occurrence is offered.

*Key words:* network of streets, traffic, shock wave, simulation model.

### Введение

Для решения проблем оценки функционирования улично-дорожной сети известны модели транспортных потоков в условиях городской улично-дорожной сети. Целью подобных моделей является оценка времени поездки по маршрутам и других критериев качества управления дорожным движением. Значительные преимущества могут быть получены при использовании методов как макро моделирования, так и микро моделирования и, особенно, их практическое приложение в решении задач на сетевом уровне управления. Ввиду того, что интенсивность транспортного потока и потребность в перевозках постоянно возрастает, крупные города Ук-

раины испытывают серьезные проблемы в организации дорожного движения. При наличии заторовых ситуаций альтернативой расширения улично-дорожной сети может быть динамическое управление дорожным движением, что позволит повысить безопасность и эффективность транспортного процесса в целом.

### Анализ литературы

Модели транспортного потока можно классифицировать по следующим признакам [1]:  
– области применения;  
– уровень детализации объекта моделирования;  
– детерминированные или стохастические;  
– непрерывные или дискретные.

Основные требования к моделям – это эффективность их применения и точность описания объекта. В результате анализа было выявлено, что преимущества макроскопических моделей оцениваются по критерию воспроизводимости модели на реальных транспортных потоках. Другим важным критерием является скорость выполнения моделирования. Поэтому при выборе стратегии локального управления транспортными потоками преимущества имеют более точные, но «медленные» модели, в то время как для системного управления транспортными потоками в реальном времени, быстрое действие модели является одним из важных параметров системы. Микроскопические модели описывают поведение индивидуальных транспортных средств, основными параметрами которых являются дистанция безопасности следующих друг за другом автомобилей и скорость их движения. К известным современным программам можно отнести VISSIM [2]. Известны специальные микроскопические модели – клеточные автоматы.

Макромодели описывают состояние потока в целом. К макроскопическим моделям можно отнести распределенные модели, модели формирования групп транспортных средств (или очередей), а также газокINETические модели [3]. Информативными параметрами этого типа моделей являются: средняя скорость транспортного потока, плотность и интенсивность. При анализе непрерывных моделей нами были выявлены противоречия: скорость  $V(x, t)$  в точке  $x$  во время  $t$  является функцией плотности  $P(x, t)$ . Тогда

$$V(x, t) = V(p(x, t)), \quad (1)$$

где  $V(p(x, t))$  – скорость движения потока при плотности  $p(x, t)$ .

Очевидно, что скорость движения потока в обычных условиях приближается к  $V(p)$ . Но этот вывод не соответствует ситуации на транспортной сети в процессе формирования «ударной волны» [4], которой можно описать заторовые состояния транспортного потока.

Согласно непрерывным моделям, хвост «ударной волны» должен иметь меньшую плотность при большей скорости, чем основной транспортный поток. Причем, непрерывные модели моделируют фронт «ударной волны» при заторовой ситуации, при удовлетворительной пропускной способности. Эта

особенность делает непрерывные модели неприемлемыми для управления транспортными потоками на трассах, где снижение скорости является одной из главных причин уменьшения пропускной способности. На улично-дорожной сети городов транспортные потоки управляются техническими средствами регулирования и, следовательно, снижение скорости является естественным процессом.

Сравнительный анализ непрерывных и дискретных моделей позволил выявить сложности представления непрерывных моделей аналитически, поэтому при исследовании преимущество имеют дискретные модели.

### Цель и постановка задачи

Динамическое управление движением по транспортной сети состоит из двух направлений: координация и предсказание, что дает ряд преимуществ по сравнению с локальным управлением. Основное преимущество состоит в том, что система имеет возможность осуществлять координацию режимов движения и предсказание поведения транспортных потоков по сети, что препятствует возникновению заторовых ситуаций. А самое главное – система может не только реагировать на них, но ликвидировать их. Таким образом, решение этих задач предполагает применение современных методов моделирования дорожного движения для успешного управления.

Целью данной статьи является разработка моделей заторовых ситуаций по улично-дорожной сети при динамическом управлении дорожным движением.

### Необходимые условия для успешного управления движением

Условия для успешного управления необходимо тщательно идентифицировать. Эти условия включают в себя:

- выбор границ управляемой сети;
- типичные схемы управления транспортными потоками;
- случайные возмущения, которые возможны в поведении транспортного потока.

Задача минимизации времени проезда предполагает, что имеет место максимальная пропускная способность улично-дорожной сети и нет никаких случайных возмущений, которыми могут быть: влияние климатиче-

ских условий, наличие примыканий второстепенных дорог, местных проездов, дорожно-транспортные происшествия. Для определения их влияния на функционирование улично-дорожной сети необходимо реализовать предсказание возникновения этих ситуаций. Следовательно, необходимо провести моделирование возникновения заторовых ситуаций на улично-дорожной сети, проверку пропускной способности, оценку пригодности элементов управления, которые могут или недопустить затор, или ликвидировать его в кратчайшие сроки. Контроль и управление состоянием пропускной способности возможно реализовать на модели поведения транспортного потока. Если управляющие воздействия на транспортный поток основано на модели, то эта модель должна быть способна воспроизводить уменьшение пропускной способности и образование заторовой ситуации. Таким образом, необходимо реализовать имитацию снижения пропускной способности, что позволит сформулировать и выявить необходимое управляющее воздействие.

Уменьшение пропускной способности приводит к повышению интенсивности транспортного потока, при этом даже кратчайшее (по времени или по длине) уменьшение пропускной способности приводит к значительному уменьшению времени проезда по сети в крупных городах. Определение такого «узкого места» в сети и его перемещение по улично-дорожной сети возможно при условии стационарности транспортного потока. Необходимо отметить, что уменьшение пропускной способности, которое возникает в результате образования «ударной волны» в «узких местах» улично-дорожной сети, значительно отличается от уменьшения пропускной способности в местах примыкания второстепенных дорог.

### Имитационная модель заторовых ситуаций

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: ускорение ( $\ddot{X}$ ), скорость ( $\dot{X}$ ), текущую координату перемещения ( $X$ ) и счетчик времени импульса ( $j$ ):

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \dot{x}_1 & \dot{x}_2 & \dot{x}_3 & \dots & \dot{x}_n \\ \ddot{x}_1 & \ddot{x}_2 & \ddot{x}_3 & \dots & \ddot{x}_n \\ j_1 & j_2 & j_3 & \dots & j_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

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 (например, на 10-м километре трассы), что приводит к образованию «ударной волны» (рис. 1). Особенностью предложенной модели является возможность исследовать влияние возмущающих воздействий (таких как транспортные задержки на пересечении, ДТП) на изменение основных параметров транспортного потока в режиме диалога. Блокирование движения транспортного потока происходит, когда скопление транспорта распространяется обратно к направлению движения этих блоков.

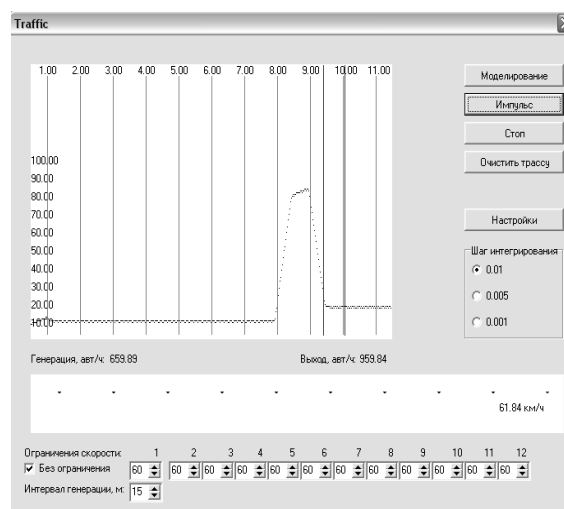


Рис. 1. Главная экранная форма программной реализации

Исследования в области решения задачи возникновения заторов (блоков) должны быть направлены на адаптацию транспортного потока на подходе к месту затора.

### **Выводы**

Эффективная стратегия управления движением не только препятствует или сокращает возможности возникновения заторов, но и управляет ликвидацией затора, если он произошел. Первым условием устранения затора является ограничение доступа транспортных средств в область затора. Входы области улично-дорожной сети должны быть избраны так, чтобы все задержки, вызванные управлением оставались в этой области. Управляющее воздействие эффективно только при определенных условиях движения и это необходимо проверять. Предложенная математическая модель является эффективным инструментом в процессе исследования ударных волн при движении транспортного потока. Управляющие воздействия системы управления возможно реализовать с помощью технических средств регулирования на подходах к месту затора.

### **Литература**

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

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 вересня 2009 р.