

УДК 656.1:51.001.8

Розглядаються питання моделювання проїзду транспортними засобами регульованих перетинів міських вулиць без утворення черг. При цьому швидкість руху транспортних засобів перед перетином узгоджується з параметрами циклу світлофорного регулювання

Ключові слова: перехрестя, транспортні засоби, управління дорожнім рухом

Рассматриваются вопросы моделирования проезда транспортными средствами регулируемых пересечений городских улиц без образования очередей. При этом скорость движения транспортных средств перед пересечением согласуется с параметрами цикла светофорного регулирования

Ключевые слова: перекресток, транспортные средства, управление дорожным движением

Problems of traffic modeling that minimizes delays in urban signaled intersections are discussed. The focus is on matching a vehicle's speed in the intersection with the parameters of the traffic signal control cycle

Key words: intersections, vehicles, road traffic control

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКОВ

Л. С. Абрамова

Кандидат технических наук, доцент*

В. В. Ширин

Ассистент*

*Кафедра транспортных систем

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61200

Контактный тел.: (057) 707-37-06

Введение

Современные крупные и крупнейшие города развитых и развивающихся стран, Украины в частности, характеризуются быстрым ростом уровня автомобилизации населения, тогда как большая капиталоемкость мероприятий по развитию сети улиц и дорог, обуславливает дисбаланс в развитии парка автотранспортных средств и системы путей сообщения. В городах с исторически сложившейся планировкой архитектурная ценность зданий и сооружений ограничивает возможность реконструкции улично-дорожной сети (УДС). Возникающая неравномерность роста уровня автомобилизации населения и развития УДС является причиной возникающих транспортных проблем в городах – транспортных заторов. В сложившейся ситуации, особо актуальной является необходимость поиска способов управления транспортными потоками (ТП) для реализации в автоматизированных системах управления дорожным движением (АСУДД), которые позволят повысить пропускную способность существующих улично-дорожных сетей городов.

Анализ публикаций

Проблеме борьбы с образованием заторов на улично-дорожной сети городов уделяется много внимания как отечественных так и зарубежных специалистов.

Основное внимание большинства исследований уделяется совершенствованию светофорного регулирования [1, 2, 3, 4, 5, 6,] и проблемам координации движения транспортных потоков по УДС [7, 8], однако основная цель указанных исследований – снижение задержек транспортных средств, повышение безопасности движения и снижение экологической нагрузки на транспортную сеть. Проблему образования заторов на регулируемых пересечениях рассмотрена в исследовании [9]. Следует отметить, что решение проблемы заторов разными авторами предлагается путем реконструкции УДС, оптимизации светофорного регулирования, строительства многоуровневых развязок.

Пропускная способность является основным параметром транспортной системы, поскольку заторы и неоправданные простои возникают в момент ее исчерпания. Поэтому необходимо исследовать возможность повышения пропускной способности УДС городов.

Цель и постановка задачи

Целью данного исследования является повышение пропускной способности регулируемых перекрестков на УДС городов. Для этого, предлагается способ динамического управления скоростью движения транспортных средств в потоке. Предлагаемый способ управления позволяет ограничивать распространение ударной волны в транспортном потоке и, как след-

стве, не допускать образование очереди на подходах к перекресткам.

Для подтверждения возможности применения предлагаемого динамического управления скоростью транспортных потоков, с учетом сложности реализации мероприятий на реальной УДС, а также для определения поведения ударных волн и параметров динамического управления, необходимо разработать имитационную модель движения транспортного потока.

Основная часть

Заторовые ситуации на УДС городов возникают по многим причинам, одной из которых является снижение пропускной способности на подходах к регулируемым перекресткам. Это объясняется вынужденной остановкой потока автомобилей (запрещающий сигнал светофора) для обеспечения пропуска транспортных средств конфликтующих направлений. При этом в транспортном потоке возникают так называемые ударные волны. Ударные волны распространяются с высокой скоростью в плотных транспортных потоках, что влечет образование затора.

Для недопущения распространения ударной волны в плотном транспортном потоке необходимо ограничивать доступ транспортных средств к месту ее возникновения. Нами предлагается осуществлять ограничение доступа транспортных средств к месту возникновения затора путем снижения скорости движения на подходе к перекрестку.

Предлагаемый способ позволит исключить прибытие транспортных средств к стоп-линии на перекрестке в момент действия запрещающего сигнала светофора, а также не допустить рост очереди на подходе к перекрестку, если у стоп-линии все же останавливаются транспортные средства на запрещающий сигнал.

Основной резерв повышения пропускной способности регулируемых пересечений заключается в обеспечении безостановочного проезда перекрестка. Это объясняется повышением эффективности времени разрешающего сигнала светофора так как остановившимся транспортным средствам после включения разрешающего сигнала светофора нет необходимости затрачивать время для того, чтобы начать движение и развить скорость.

Для проверки применимости предлагаемого способа управления на УДС разработана имитационная модель движения транспортного потока по полосе на подходе к регулируемому перекрестку. Предлагаемая имитационная модель позволяет проанализировать изменение скорости ТП, его плотности и реакцию потока на возмущение, которое вызывает ударную волну.

Разработанная имитационная модель является микроскопической поскольку описывает процесс движения отдельно взятого автомобиля в потоке. Основными параметрами модели являются безопасная дистанция между автомобилями в потоке (S), скорость движения каждого автомобиля 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.

Скорость безопасного движения (исключающая возможность столкновения последовательно движущихся автомобилей в потоке) на определенной дистанции определяется, исходя из условия равенства длины тормозного пути и данной дистанции. В теории автомобиля безопасная скорость определяется исходя из выражения [10]:

$$V_N = \sqrt{2 \cdot j \cdot d}, \quad (1)$$

где j – максимальное замедление автомобиля, m/c^2 ; d – безопасная дистанция между автомобилями в потоке, м.

Проведенный ряд эмпирических исследований как модели так и транспортных потоков на УДС г. Харькова показал целесообразность уточнения выражения (1):

$$V_N = \sqrt{4 \cdot j \cdot d} \quad (2)$$

В потоке автомобили не разгоняются с максимально возможным ускорением и не тормозят с максимально возможным замедлением, которые может реализовать автомобиль, а выполняют это постепенно, плавно. Для реализации такого предположения, в процессе моделирования значение ускорения (замедления) определяется исходя из значений текущей скорости автомобиля и дистанции до препятствия (автомобиля или запрещающего сигнала светофора).

$$a(V, d) = -\arctan(V - \sqrt{2 \cdot j \cdot d} \cdot 5) \times \frac{2}{\pi} (3 + 2 \cdot ((V - \sqrt{2 \cdot j \cdot d}) > 0)) \quad (3)$$

Графически зависимость ускорения автомобиля в потоке от скорости движения и дистанции представлена на рис. 1.

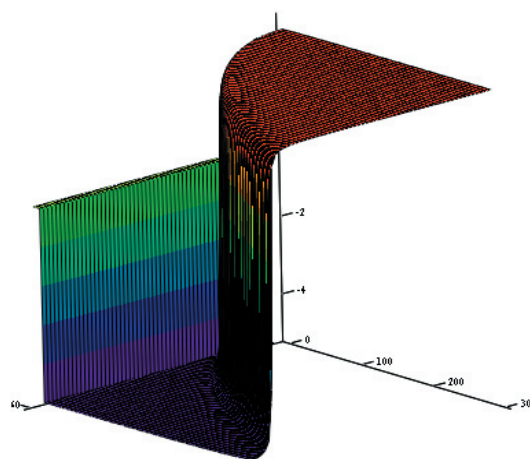


Рис. 1. Диаграмма ускорения автомобиля в транспортном потоке

Процесс моделирования заключается в численном интегрировании ускорения автомобиля, его скорости и текущей координаты перемещения.

Укрупненная блок-схема алгоритма модели представлена на рис. 2.

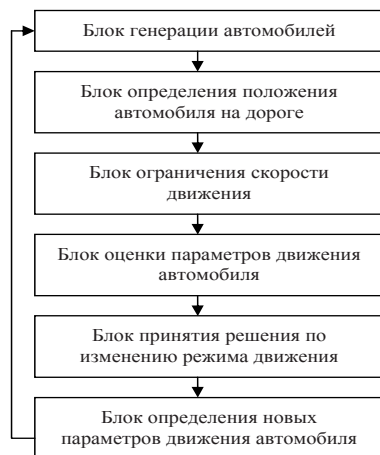


Рис. 2. Блок-схема алгоритма модели

В блоке генерации автомобилей случайным образом генерируются автомобили с последующим включением их в общую математическую модель. Предлагаемая имитационная модель позволяет задавать интенсивность транспортного потока. 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 2 км). В случае превышения текущей координаты (положения) автомобиля максимального значения 2 км автомобиль выводится из общей математической модели и не участвует в процессе моделирования.

В блоке ограничения скорости движения на основании текущего сигнала светофора вводится либо снимается ограничение скорости.

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.

Рабочая область программной реализации имитационной модели представлена на рис. 3, 4.

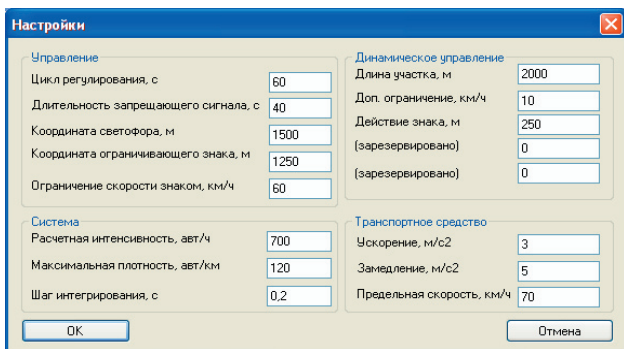


Рис. 3. Рабочая область пользовательского интерфейса

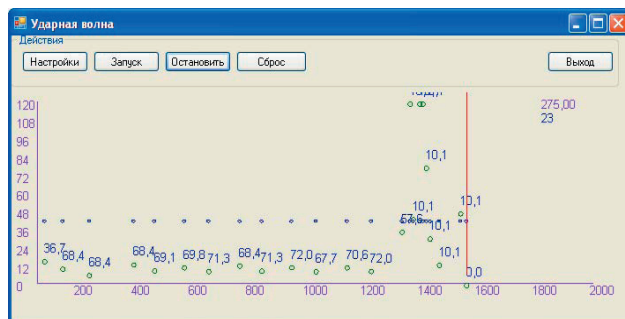


Рис. 4. Рабочее окно программной реализации

В результате моделирования было выяснено, что предлагаемый способ динамического управления без определения параметров управления (уровня ограничения скорости и расстояния, на котором необходимо начинать ограничивать скорость) не позволяет полностью исключить образование очереди на подходе к перекрестку. Для определения параметров управления ТП был проведен модельный эксперимент.

В результате аппроксимации полученные значения для описания изменения ускорения последнего в пачке автомобиля, которое определяется выражением:

$$a(t) = 2,86 \cdot e^{-\frac{t}{170}} + 0,14 \tag{4}$$

Пачкой называем часть ТП, который уплотняется после начала действия ограничения скорости.

При интегрировании ускорения, скорость последнего автомобиля в пачке определяет место начала ограничения скорости.

$$V(t) = 2,78 + \int_0^t a(x) dx \tag{5}$$

где 2,78 – минимально допустимая скорость движения, м/с (ниже 10 км/ч водители принимают решение об остановке)

$$V(t) = \int_0^{20} V(t) dt \tag{6}$$

Верхняя граница интегрирования принята из соображения, что автомобиль, движущийся со скоростью 10 км/ч, ускоряясь, достигает скорости 60 км/ч через 20 с.

Следует отметить, что значения ограничения скорости определяются методом прямого перебора. В качестве критерия предложено отношение длины зоны ограничения скорости к длине «мертвой зоны».

Под «мертвой зоной» мы понимаем расстояние от стоп-линии находясь в пределах которого последний в пачке автомобиль ускоряясь не успевает достичь перекрестка и проехать его.

С помощью предложенной модели были получены значения управляющих параметров для конкретных параметров участка УДС. Так, при скорости свободного движения 60 км/ч, длительности цикла регулирования 60 с, длительности разрешающего сигнала 20 с при ограничении скорости 10 км/ч расстояние, на котором следует вводить ограничение составляет 254 м от стоп-линии.

Выводы

Основная причина возникновения ударной волны – запрещающий сигнал светофора на перекрестке. При недостаточной длительности разрешающего сигнала на походе начинает накапливаться очередь. Это является причиной возникновения заторов и снижения пропускной способности УДС города.

Разработанная имитационная модель движения транспортных средств в потоке позволяет в режиме диалога исследовать влияние возмущающих воздействий (таких как транспортные задержки на пересечении, ДТП) на изменение основных параметров транспортного потока. Таким образом, предложенная

модель является эффективным инструментом в процессе моделирования ударных волн при движении транспортного потока с целью формирования управляющих воздействий на ТП.

Проведенные эмпирические исследования подтверждают эффективность предлагаемого способа динамического управления скоростью движения транспортного потока, поскольку позволяет исключить возникновение очереди на подходе к перекрестку.

Экспериментальные исследования на модели по данным магистралей города Харькова дали положительный результат, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Литература

1. Вытяжков Д.В. Целевой поиск управляющих параметров светофорной сигнализации в автоматизированной системе управления дорожным движением // Сборник научных трудов. Серия "Естественнонаучная" №1 (7) СевКавГТУ, Ставрополь, 2004.
2. Живоглазов В.Г. Исследование оптимальности светофорного регулирования // Автореф. дис. к. т. н. – Москва 1971 г. 30 с.
3. Никурадзе Н.Ш. Исследование режимов светофорного регулирования на сложных пересечениях в одном уровне // Автореф. дис. к. т. н. – Москва 1981 г. 17 с.
4. Павлович А.А. Методы повышения эффективности управления транспортными потоками на регулируемых пересечениях в городах // Автореф. дис. к. т. н. – Москва 1989 г. 18 с.
5. Живоглазов В.Г., Бахтина О.Н. Теоретические принципы возникновения и предупреждения заторовых состояний на автодорогах // Изв. вузов. Сев. – Кавк. Регион. Техн. Науки. 2004 №3.
6. Колесніков О.Є. Моделювання і оптимізація автоматизованого управління дорожнім рухом для міської вуличної мережі. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Одеса 2004.
7. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов // ИКЦ "Академкнига" 2005.
8. Михеева Т.И. Моделирование движения в интеллектуальной транспортной системе // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, №2 2004.
9. Бахтина О.Н. Разработка методов расчета и оценки заторовых состояний транспортного потока на улично-дорожной сети городов : 05.22.10 Бахтина, Ольга Николаевна Разработка методов расчета и оценки заторовых состояний транспортного потока на улично-дорожной сети городов (на примере г. Краснодара): дис. к.т.н.: Армавир, 2006 196 с.
10. И.С. Туревский Теория автомобиля // М.: Высшая школа 2005.