

KIRYANOV O.F., KOROBOV A.A. The organization of system of automated management by transport streams of the city

Application of modern information technology of planning of routes of lorries for construction of city system of automatic control by goods traffics as means of optimisation of congestion of transport highways is considered.

УДК 65.0.12.122

Кирьянов О.Ф., Бублик Р.П.

СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, ОТОБРАЖАЮЩЕЙ ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА СВЕТОФОРАХ

Введение. Качественное регулирование транспортного потока и его управление – один из главных аспектов функционирования транспортных систем. Но транспортный поток есть система сложная и часто непредсказуемая. Соединение психофизиологических особенностей водителя, технического состояния и характеристики автомобиля, условий передвижения делает сложным и часто невозможным получение четко определенной, универсальной формулы или закона, которые описывают функционирование потока и точно отображают зависимости его показателей.

Основным источником информации о поведении транспортного потока является непосредственное наблюдение. Данные, полученные путем натуральных наблюдений, имеют преимущество над имитационным и математическим моделированием в плане объективности и приближенности к реальным значениям основных параметров функционирования потоков. Но натурное наблюдение не дает возможности проследить изменение этих параметров во времени, под действием факторов, ведущих за собой изменение поведения потока. Имитационное моделирование лишено подобного рода недостатков, оно дает возможность исследовать изменение поведения потока при возникновении каких-либо дополнительных условий, что часто невозможно сделать в реальном потоке ввиду огромных затрат (как финансовых так и энергетических) [1].

Несмотря на то, что этап разработки модели может занять значительный отрезок времени, время высвобожденное в результате исследования непосредственно в ее среде позволяет получить большую эффективность, чем при статическом наблюдении.

Постановка задачи. Сейчас существует достаточно много моделей, описывающих транспортный поток. Но все они имеют в своей основе некие упрощения и могут быть применены лишь в определенных условиях. Большинство моделей построено на основе фундаментальной диаграммы транспортного потока, так называемой модели Лайтхила-Уизема [2].

Здесь фазы транспортного потока плавно переходят одна в другую, что противоречит полученным эмпирическим результатам.

Анализ существующих методов и моделей позволит определить их положительные и негативные стороны, а синтез – получить модель, которая будет лишена недостатков других моделей.

Актуальным является разработка методов управления потоками с учетом особенностей поведения водителей, условий движения и особенностей транспортного района.

При моделировании динамических систем их описание происходит с использованием числовых методов, что позволяет адекватно отразить сложность данных систем. Для их анализа также используются разные программные средства, которые могут дать ответ на поставленный вопрос. Но пользователи данных программных продуктов должны быть профессионалами в использовании именно этих оболочек, к тому же эти программы часто имеют сложную комплексную архитектуру, которая не используется в полной мере для решения неких узкоспециализированных задач. Исходя из этого, более эффективно использовать собственные разработки.

При создании имитационной модели транспортных потоков в

среде C++ была использована библиотека PLAN, разработанная в университете г. Брауншвейг [3].

За основу была взята макроскопическая модель, так она дает возможность абстрагироваться от единичных автомобилей, движение которых непредсказуемо, взаимодействие между ними минимальное. В то же время сам транспортный поток как совокупность событий может быть описан подобно самоорганизующейся системе. Но так же в системе использовались параметры микромоделей, так как они позволяют определить четкие параметры функционирования отдельных очередей автомобилей. Благодаря синтезу этих двух моделей, можно рассматривать как функционирование всего потока в улично-дорожной сети, так и малых его частей, как некой совокупности единичных автомобилей.

Опишем некоторые параметры разрабатываемой модели. Транспортный поток, как и поток жидкости, является одномерным. Одномерный поток – движение жидкости или газа в среде, когда совокупность всех траекторий состоит из параллельных прямых линий и в каждом плоском сечении к направлению движения скорости фильтрации во всех точках не только параллельные, но и равны между собой. Такой поток еще имеет название линейного, параллельно-струйного и т.д. [4].

При наличии двух и более полос движения наблюдается стратификация транспортного потока – разделение потока жидкости на отдельные слои, которые характеризуются разными плотностями.

Сделано предположение, что поток также является ламинарным, т.е. таким, в котором смешение соседних слоев жидкости отсутствует. Таким образом, мы исключаем возникновения случайных турбулентных возмущений, которые иногда возникают в реальном транспортном потоке. Эти случайные возмущения усложняют модель и не подвергаются определенным закономерностям и правилам движения.

Таким образом, можем рассматривать магистральные направления улично-дорожной сети как трубы, по которым движется жидкость. Перекрестные же направления, которые являются немагистральными, можно считать аналогом трещины в трубе, и транспортный поток, проходящий через него, рассчитывается по формуле, выведенной из закона Торричелли [4]

$$\rho^m \cdot R = \rho^n \cdot \frac{\rho^n}{2}, \quad (1)$$

где ρ^m – интенсивность транспортного потока магистрального направления;

R – транспортный спрос в «разрыве»;

ρ^n – интенсивность транспортного потока в поворотном направлении.

Закон Торричелли позволяет вычислить максимальный уровень утечки жидкости из сосуда.

Адаптировав данный закон к транспортному потоку, он будет звучать так: величина транспортного потока, следующего по немагистральному направлению (поворотный поток) соответствует транс-

Бублик Роман Петрович, аспирант кафедры транспортных технологий Кременчугского государственного политехнического университета имени Михаила Остроградского.

Украина, КГУ им. М. Остроградского, 39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20.

Физика, математика, информатика

портному спросу в этом направлении.

Проведя несколько элементарных преобразований, имеем величину магистрального потока:

$$\rho^n = \sqrt{2 \cdot R} \quad (2)$$

Перекрестки в данной системе играют роль заслонок, где при включении запретной фазы светофора заслонка закрывается. Дальнейшее исследование движения потока в системе происходит с точки перекрестка с запретной фазой.

Транспортный поток, образованный перед светофором, останавливается, его плотность увеличивается до максимально возможной, скорость (интенсивность движения) падает до 0. Транспортный поток, который продолжил движение дальше, имеет разреженное состояние, так как автомобили, которые начали движение первыми к моменту времени t_j имеют большую скорость V_1 , чем автомобили в конце очереди V_2 . Когда $V_1 < V_2$, плотность данного потока возрастает. Когда $V_1 = 0$, – поток начал остановку перед светофором с запрещающей фазой. В то же время конец очереди продолжает свое движение, V_2 снижается. Когда $V_1 = V_2 = 0$, – транспортный поток полностью остановился перед светофором. Плотность вновь обрела свое максимально возможное значение. Таким образом, имеем волнообразное движение вязкой жидкости по магистральному направлению (рис. 1 а–д).

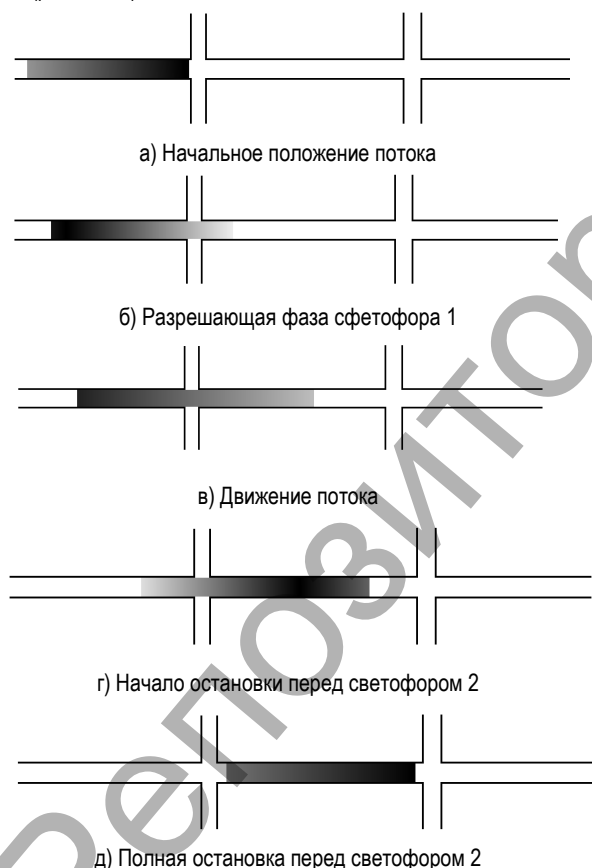


Рис. 1. Схематическое изменение плотностей движущейся очереди автомобилей

На иллюстрациях можно наблюдать схематическое изменение плотностей на протяжении движения очереди автомобилей от одного светофора к другому. Графически большая плотность имеет темный цвет, светлый цвет соответствует меньшим плотностям транспортного потока. Условно данный поток автомобилей движется от начала разрешительной фазы первого перекрестка до начала запретной фазы на следующем перекрестке.

На примере приведенной простой системы, состоящей из одного магистрального направления и двух перекрестков на нем, можно получить выводы относительно выбора оптимального режима работы светофора, а также снижения возникновения пробок на улично-дорожной сети.

В предыдущих работах [5] для модели нескольких реальных перекрестков был найден интервал между включениями соседних светофоров (так называемое время запаздывания), длительность основных и дополнительных фаз. При использовании полученных значений длительностей фаз в среде имитационной модели PTV VISSIM были получены положительные результаты. Коэффициент загрузки перекрестков при проведении мероприятий по корректировке режимов работы светофора был уменьшен на 3–5%. Таким образом, увеличивалась пропускная способность транспортной магистрали и уменьшались транспортные задержки.

Однако иногда, без определенной периодичности, возникали заторовые ситуации. Это является одной из особенностей функционирования транспортного потока – вероятностный характер возникновения тех или иных ситуаций, которые не могут быть включены в модели как систематические. И, как следствие, рассчитанные режимы работы светофора оказывались неспособными обеспечить необходимую пропускную способность.

Проведя наблюдения за функционированием транспортного потока на реальных перекрестках, можно столкнуться с ситуацией, когда на определенном перегоне имеем пробку. На перекрестке, предшествующем этому перегону, включается разрешительная фаза, и транспортный поток предварительного перегона присоединяется к затору. Тем самым происходит блокирование перекрестного направления и при включении запрещающей фазы (а для перекрестного направления – разрешительной) имеем затор во всех направлениях движения на данном перекрестке. Подобное явление наблюдается на перекрестках, расстояние между которыми меньше или равно длине очереди автомобилей, движущихся от предыдущего перекрестка.

Данная модель позволяет заключить, что разрешительная фаза работы светофора должна проходить проверку на величину плотности ρ на перегоне, который следует за ним. Согласно этому, следующий за светофором перегон должен обеспечивать достаточный запас плотности для потока, который остановился перед светофором.

В случае, когда плотность транспортного потока следующего перегона ρ_2 меньше плотности транспортного потока предварительного перегона ρ_1 , при условии запретной фазы на перекрестке, включение разрешительной фазы возможно. Когда же $\rho_2 > \rho_1$, – включение разрешительной фазы невозможно по причине конфликта с перекрестным направлением и возникновения затора. Поэтому должна проводиться проверка следующего перегона.

Однако если остановиться именно на данном формулировании ($\rho_2 > \rho_1$ – запрет включения разрешительной фазы), можно получить ситуацию при малых значениях транспортных потоков, когда перегон может принять поток, образовавшийся на перекрестке. Поэтому необходим расчет возможных значений ρ на перекрестках и сравнение плотностей, при достижении некоего значения.

Итак, перегон за перекрестком должен быть заполнен транспортом настолько, чтобы свободного пространства осталось достаточно для транспортного потока, что остановился перед перекрестком.

Данное условие может быть выражено математически:

$$L - l_0 = l_1 + l_2, \quad (3)$$

где L – расстояние между перекрестками;

l_0 – длина очереди автомобилей перед перекрестком 2;

l_1 – длина очереди автомобилей перед перекрестком 1;

l_2 – длина очереди автомобилей, поступающих с второстепенных направлений.

Предварительное условие можно выразить и через плотность транспортного потока. В таком случае она будет иметь вид:

$$P_{\max} - \rho_0 = \rho_1 + \rho_2, \quad (4)$$

где ρ_{\max} – максимальная плотность потока между двумя перекрестками;

ρ_0 – плотность транспортного потока перед перекрестком 2;

ρ_1 – плотность транспортного потока перед перекрестком 1;

ρ_2 – плотность потока второстепенных направлений.

Транспортный поток является достаточно инерционной системой. Необходимо учесть тот фактор, что для обеспечения оптимального движения потоков светофоры должны работать с некоторым опозданием. В случае, когда в данном направлении работает эффект «зеленой волны», каждый следующий светофор включается таким образом, чтобы пропустить остаток транспортного потока и освободить место на перегоне для потока, движущегося от предыдущего светофора. Однако когда значения транспортных потоков значительные в обоих направлениях транспортной магистрали, чистый эффект «зеленой волны» невозможен, так как направление, противоположное «волне», будет иметь не согласованные с интенсивностью потока циклы регулирования. Учтя это и рассчитав задержки светофоров, максимально удовлетворив противоположные потоки, можно найти необходимый параметр проверки по плотности.

Чтобы перегон мог принять поток, образовавшийся за время запретной фазы, необходимо удовлетворить условие:

$$\rho_{\text{заг}} - \rho_2(t_{i+n}) \geq \rho_1(t_i), \quad (5)$$

где $\rho_{\text{заг}}$ – максимальная плотность участка;

$\rho_2(t_{i+n})$ – плотность на данном участке (перегоне) в момент времени t_{i+n} ;

$\rho_1(t_i)$ – плотность на предыдущем участке в момент завершения запрещающей фазы t_i .

Момент времени t_{i+n} характеризует собой момент, когда транспортный поток, который условно начал движение при включении разрешительной фазы на предыдущем перегоне, присоединился к «хвосту» транспортной очереди или к стоп-линии перегона, которая рассматривается. Иными словами, момент времени t_{i+n} – это тот момент времени, в котором транспортная очередь, образовавшаяся на предыдущем перегоне, сможет беспрепятственно разместиться на данном перегоне:

$$t_{i+n} = t_i + \frac{S}{V}, \quad (6)$$

где S – расстояние от «головы» очереди на предыдущем перегоне до «хвоста» очереди на данном перегоне в момент времени t_i ;

V – скорость движения потока.

Таким образом, расстояние S должно быть равно длине очереди, образовавшейся на светофоре за время запретной фазы. При этом происходит динамическая проверка на наличие свободного пространства на перегоне. Данные категории используются в имитационной модели.

Библиотека PLAN позволяет использовать возможности программирования и создания динамических моделей специалистам соответствующих областей науки, однако неспециалистам в языках

программирования. Предоставленные с ее помощью средства позволяют относительно быстро и просто смоделировать систему, интересующую исследователя.

Модель базируется на гибридной кластерной системе, так как модель функционирует как макро модель, а именно – как гидродинамическая модель, но основные параметры функционирования рассматриваются как в микро модели, поток рассматривается как совокупность неразрывно связанных между собой кластеров. Таким образом, имеем совокупность событий (отдельных единиц подвижного состава), которые образуют поток, однако он не является однородным в плане плотностей. Следовательно, мы можем моделировать и наблюдать функционирование как потока в целом, так и его отдельных частей.

Для удобства создания графической анимации данные кластеры изображены в виде кругов. Таким образом, имеем структуру, подобную молекулярной, частицы которой имеют жесткие связи, однако могут иметь отличные характеристики плотности внутри себя. Характеристики плотности транспортного потока были взяты как статистические (результаты получены путем натурных исследований нескольких реальных перекрестков города). Исходя из этих характеристик и было создано схематическое изображение функционирования транспортного потока, где отображается плотность потока и изменение состояния на перекрестке.

Заключение. Используя средства программирования и особенности функционирования гидродинамических систем, возможно создание имитационной модели транспортного потока с условиями реально существующих перекрестков с малым расстоянием между ними. Сочетание микро- и макромоделей позволяет наиболее точно описать функционирование транспортного потока и с наибольшей точностью предсказать его функционирование при определенных обстоятельствах.

Использование алгоритмов проверки плотностей транспортных потоков позволит снизить вероятность возникновения заторов, а также открывает путь к использованию АСУДД следующего уровня.

Модель, созданная в среде PLAN, обеспечивает верификацию режимов работы светофоров и характеристик функционирования транспортного потока. В дальнейшем в среде данной библиотеки возможно создание программы, которая сможет управлять контроллерами регулирования движения и получать данные с различных датчиков движения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брайловский, Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М: Транспорт, 1978. – 125 с.
2. Клиновштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев – М: Транспорт, 2001. – 247 с.
3. Simulation mechatronischer Systeme / Prof. Dr.-Ing.habil. G.P. Ostermeyer // Institut für Dynamik und Schwingungen. – Technische Universität Braunschweig, 2000–2010.
4. Левицкий, Б.Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б.Ф. Левицкий, Н.П. Лещій – Львів: Світ, 1994. – 264 с.
5. Бублик, Р.П. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського / Р.П. Бублик, О.Ф. Кір'янов, Г.Г. Переверзєва. – Вип. 1/2010 (60). – Ч. 1 – С. 127–131.

Материал поступил в редакцию 07.12.11

KIRYANOV O.F., BUBLIK R.P. The development of a simulation model which represents the change of the traffic flow density at the traffic lights

The transport stream function in terms of hidromodeling has been studied. The regularities of the model in the medium of C++ using library PLAN which reflects the change of traffic flow density at the traffic lights has been suggested.