

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ НАСЫЩЕНИЯ

О.В. Денисенко, доцент, к.т.н., А.С. Филимонова, студент, ХНАДУ

Аннотация. Представлен краткий обзор методов определения потока насыщения (ПН). Предложены модели для определения временных интервалов очереди автомобилей у стоп-линии и величины идеального ПН. Проведена оценка результатов моделирования по экспериментальным данным.

Ключевые слова: поток насыщения, модель, светофорное регулирование, транспортный поток (ТП), транспортное средство (ТС).

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКІВ НАСИЧЕННЯ

О.В. Денисенко, доцент, к.т.н., А.С. Філімонова, студент, ХНАДУ

Анотація. Представлено короткий огляд методів визначення потоку насичення (ПН). Запропоновано моделі для визначення часових інтервалів черги автомобілів біля стоп-лінії й величини ідеального ПН. Проведено оцінку результатів моделювання за експериментальними даними.

Ключові слова: потік насичення, модель, світлофорне регулювання, транспортний потік, транспортний засіб.

EFFICIENCY INCREASE OF CONGESTION FLOWS DETERMINATION

O. Denysenko, associate professor, cand. eng. sc., A. Filimonova, student, KhNAHU

Abstract. A short review of congestion flows determination methods (CF) is presented. The models for time intervals determination of vehicles flow at the stop-line and the magnitude of the ideal CF are presented. The estimation of modeling results according to experimental data is carried out.

Key words: saturation flow, model, traffic signalization, traffic, vehicle.

Введение

Быстрое возрастание автомобильного парка и соответственно интенсивности движения, неизбежно ведут к резкому увеличению количества объектов светофорного регулирования. Поэтому совершенствование методики проектирования регулируемых пересечений представляет несомненный практический интерес. Тем не менее, в настоящее время решение практических задач в области проектирования объектов светофорного регулирования в Украине сопряжено с рядом объективных трудностей, например, таких, как отсутствие новых методических руко-

водств, содержащих подробные справочные данные по ПН и коэффициентам приведения к легковым автомобилям, основывающиеся на результатах исследований последних лет. Обновление и коррекция справочных данных принципиально важны, т. к. отчетливо прослеживается влияние непрерывно изменяющихся динамических характеристик современного автомобильного парка.

Анализ публикаций

Первое ознакомление с публикациями показывает, что специалисты Украины и СНГ приводят разные определения понятий ПН,

потерянного времени, эффективной длительности фаз, иногда существенно отличающихся от определений, содержащихся в зарубежной специальной литературе. Например, в [1] ПН определяется как максимальная интенсивность разезда очереди при полностью насыщенной фазе. ПН S_{ij} (ед./ч.) для j -го направления (полосы движения) i -й фазы определяют путем натуральных наблюдений:

$$S_{ij} = \frac{3600}{n} \cdot \left(\frac{m_1}{t_1} + \frac{m_2}{t_2} + \dots + \frac{m_n}{t_n} \right) \quad (1)$$

где n – число замеров; m_i – число приведенных ТС, прошедших через стоп-линию за время t_i .

В руководстве по пропускной способности ПН S рассматривается как «идеальный уровень насыщения» S_0 , (равный 1800 прив.ед./ч.), который применяется в сочетании с поправочными коэффициентами:

$$S = S_0 \cdot q \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_G \cdot f_P \cdot f_{BB} \times f_A \cdot f_{LU} \cdot f_{RT} \cdot f_{LT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad (2)$$

где q – количество полос движения; f_w , f_{HV} , f_G , f_P , f_{BB} , f_A , f_{RT} , f_{LT} , f_{Rpb} , f_{Lpb} , f_{LU} – коэффициенты, учитывающие соответственно: ширину полосы движения, количество грузовых автомобилей, уклон на подходе к перекрестку, влияние пешеходов на транспортный поток, влияние остановок общественного транспорта, тип территории, лево- и правоповоротное движение, влияние велосипедистов и пешеходов соответственно на право- и левоповоротное движение, равномерность использования полос движения. Задача оценки пропускной способности фазы [1] (рис. 1) получила простую геометрическую интерпретацию. Площадь под кривой определяется площадью прямоугольника с высотой – интенсивностью ПН S и основанием – эффективной длительностью зеленого сигнала G_e .

Цель и постановка задачи

Поставленной целью является повышение уровня качества расчетов светофорного регулирования, а также оценки их эффективности, за счет более точного определения значения ПН. Согласно этой цели были поставлены следующие задачи исследований:

провести анализ методики определения величины идеального ПН S_0 и экспериментальной оценки её эффективности. Для этого:

- провести исследования временных интервалов насыщенных ТП, движущихся в сечении стоп-линии регулируемого перекрестка;
- провести исследование временных интервалов между легковыми автомобилями очереди для идеальных условий движения;
- установить зависимости изменения величины временного интервала от порядкового номера в очереди.

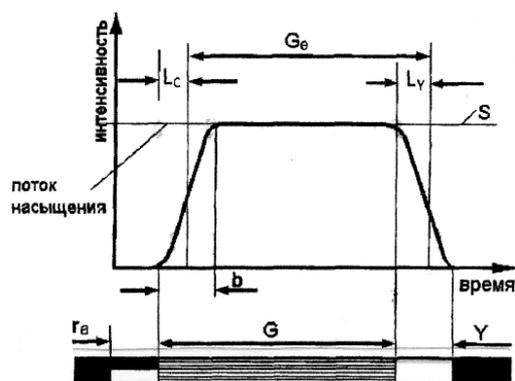


Рис. 1. Зависимость «интенсивность–время» для подхода к регулируемому перекрестку в работах Вебстера: где G – длительность зеленого сигнала; Y – длительность желтого сигнала; r_a – длительность сочетания красного и желтого сигналов; L_c – стартовые потери времени; L_y – часть желтого сигнала в конце фазы, используемая для движения; b – промежуток времени от включения разрешающего сигнала до наступления потока насыщения

Выбор модели

Одним из факторов, влияющих на выбор регрессионной модели для определения S , есть имеющиеся в распоряжении методики проведения экспериментальных обследований, а также настоящий уровень изученности величины ПН. Отсутствие развитой системы поправочных коэффициентов приведения величины S_0 к реальным условиям движения говорит о невозможности достижения необходимой точности при определении S на основе величины транспортной задержки на перекрестке. Исследования [2] показали, что наиболее подходящей основой при выборе регрессионной модели являются временные интервалы между ТС.

Поскольку составляющими временных интервалов T для разъезда ТС на перекрестке являются стартовые задержки, интервалы, соответствующие S_0 и дополнительные составляющие, связанные с различными реальными условиями движения ТП для определения S предлагается использовать следующую модель:

$$T = \sum t_{\text{ст}(i)} + \sum_{j=1}^{j=m} t_{0j} \cdot n_j + \sum t_{\text{доп}(k)}, \quad (3)$$

где $\sum t_{\text{ст}(i)}$ – величина стартовой задержки, с; t_{0j} – величины временных интервалов ТС типа j для S_0 , с; n_j – количество ТС типа j в очереди; $t_{\text{доп}(k)}$ – дополнительные составляющие, связанные с различными факторами реальных условий движения ТП; k – количество различных факторов.

В [2] предлагается при определении параметра T в качестве начального момента использовать не момент включения зеленого сигнала, а момент начала движения первого транспортного средства в очереди с целью исключения из $\sum t_{\text{ст}(i)}$ времени реакции водителя на смену светофорного сигнала. В качестве конечного предлагается использовать момент прохождения над стоп-линией заднего бампера ТС. Такой выбор позволяет избежать ошибки, связанной с неполным учетом длины последнего в очереди ТС.

По своему определению S (рис. 1) достигается лишь после промежутка времени b с момента включения зеленого сигнала. Для определения момента наступления ПН предлагалось провести предварительное исследование, направленное на оценку этого момента. При этом в [2] предлагается использование наиболее распространенной обратной зависимости между позицией автомобиля в очереди и величиной временного интервала

$$t_{\text{легк}(N)} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{N}, \quad (4)$$

где $t_{\text{легк}(N)}$ – величина временного интервала легкового автомобиля как функция от номера его позиции в очереди, с; β_0 – свободный член регрессионной модели, характеризующий величину временного интервала насыщения $t_{\text{нас}}$, соответствующего S_0 , с; β_1 – параметр регрессионной модели, определяющий отклонения временного интервала N -го транспортного средства в очереди от $t_{\text{нас}}$, с.

Модель гиперболы (4) является простой, но не единственной. В [3] отмечается, что если нет никаких ограничений по виду исходной функции, то увеличивая число неизвестных параметров модели можно достичь более высокой точности адекватности функции. Поэтому как второй вариант рассматривалась модель следующего вида:

$$t_{\text{легк}} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{N^k}, \quad (5)$$

где k – дополнительный неизвестный параметр.

Наиболее важным элементом в оценке регрессионных моделей (4, 5) является оценка величины свободного члена β_0 , к которой асимптотически будет приближаться величина $t_{\text{нас}}$. Поэтому важным этапом этих исследований было определение номера N среднестатистического автомобиля, начиная с которого (например, с пятого) осуществлялось выравнивание зависимостей (4, 5).

Объектом исследования для натуральных наблюдений было выбрано пересечение пр. Ленина и ул. Культуры. Видеосъемкой было зафиксировано достаточное для статистической оценки число циклов регулирования для различного состава и длины очереди ТС. В ходе статистической обработки, используя предложенные модели, были получены значения T очереди ТС и $t_{\text{легк}}$, соответствующих S_0 . Результаты обработки показали, что наиболее рационально средние значения $\bar{t}_{\text{нас}}$ определять, начиная с 5-го автомобиля очереди, а величину S_0 (легк. авт./ч) рассчитывать следующим образом:

$$S_0 = \frac{3600}{\bar{t}_{\text{нас}}}. \quad (6)$$

Определение параметров моделей (4 и 5) осуществлялось методом наименьших квадратов [3] для двух вариантов: полной очереди автомобилей и очереди начиная с 5-го. Параметры и характеристики этих моделей представлены в табл. 1.

Результаты исследования моделей показали, что наименьшее значение B_n , т.е. наиболее приемлемой можно считать модель (5), для которой отклонение величины T от экспериментальных значений является минимальным.

Таблица 1 Параметры и характеристики моделей

Модель	Зависимость для полной очереди	Относительная ошибка аппроксимации, B_n	Для очереди, начиная с 5-го авт.	Относительная ошибка аппроксимации, B_n	Значение S_0 , авт./ч
гиперболического вида (8)	$t_{\text{легки}} = 2,128 + \frac{0,833}{N_i}$	0,0459	$t_{\text{легк}} = 1,998 + \frac{1,118}{N}$	0,0285	1801,8
показательного вида (9)	$t_{\text{легки}} = 1,976 + \frac{0,967}{N_i^{0,7}}$	0,0391	$t_{\text{легк}} = 1,89 + \frac{4,67}{N^{1,4}}$	0,0055	1904,8

Выводы

Полученные по моделям значения S_0 хорошо согласуются с результатами практических исследований, как в нашем случае, так и с результатами других авторов. Проверка модели (3) показала хорошие результаты сходимости экспериментальных и теоретических данных (значение B_n , табл. 1). Это подтверждает практическую ценность использования всех предложенных моделей.

Литература

1. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.
2. Левашев А.Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях: Автореф. дис. канд. технич. наук: 05.22.10: Иркутский гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2004. – 17 с.
3. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – М.: Изд-во «Наука», 1970. – 432 с.

Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 июля 2009 г.