

## 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.

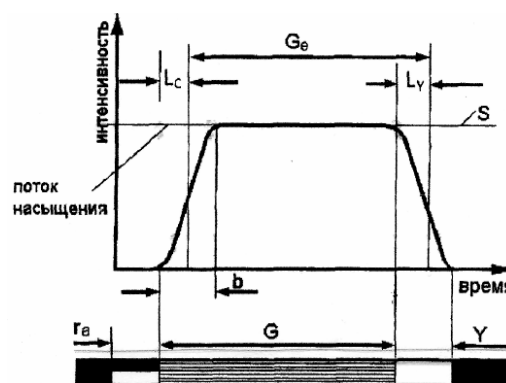


Рис. 1. Зависимость «интенсивность–время» для подхода к регулируемому перекрестку в работах Вебстера: где  $G$  – длительность зеленого сигнала;  $Y$  – длительность желтого сигнала;  $r_a$  – длительность сочетания красного и желтого сигналов;  $L_c$  – стартовые потери времени;  $L_y$  – часть желтого 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 разезда 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:

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

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;  $t_{\text{доп}(к)}$  – дополнительные составляющие, связанные с различными факторами реальных условий движения ТП;  $к$  – 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;  $\beta_0$  – свободный член регрессионной модели, характеризующий величину временного интервала насыщения  $t_{\text{нас}}$ , соответствующего  $S_0$ , с;  $\beta_1$  – параметр регрессионной модели, определяющий отклонение 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  $\beta_0$ , 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.