

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИК «НСМ» В РОССИЙСКИХ УСЛОВИЯХ

**А.Г. Левашев**

Иркутский Государственный Технический Университет

В последние годы в Российской Федерации не издавались руководства в области организации движения на регулируемых перекрестках. Вместе с тем, в последние полтора десятилетия в теории и практике проектирования регулируемых перекрестков произошли значительные изменения. За рубежом уже используются уточненные методики расчета задержек (руководство НСМ 2000). В настоящей статье рассмотрены результаты работы исследователей Иркутского государственного технического университета, связанной с адаптацией методик НСМ 2000 к условиям движения в России. В частности приводятся уточненные расчетные параметры расчета режимов регулирования, а также результаты их использования при проектировании регулируемых пересечений.

### Направления исследований ИрГТУ

Недавно созданная транспортная лаборатория «Информационные технологии на транспорте» (TL-ISTU) занимается исследованиями в области методов проектирования организации дорожного движения городов. Одной из причин, повлиявших на формирование научных направлений данной лаборатории, является следующее. В советский период уровень автомобилизации составлял лишь 50 – 70 тыс. легковых автомобилей на 1000 жителей населения, а доля пассажирских перевозок общественным транспортом достигала 80-90%. В результате большая часть исследований была связана с изучением сетей пассажирского транспорта. Такой показатель, как уровень обслуживания, был определен лишь для загорода и применялся как уровень комфорта или уровень удобства при пассажирских перевозках. Для движения транспорта по городу с учетом особенностей улично-дорожной сети (УДС) такой показатель не определялся.

Следует отметить, что в России не применялись интегральные критерии оценки качества обслуживания движения, а использовались различные показатели. Основные публикации, в которых говорится о критериях оценки качества обслуживания движения транспорта, проводились такими авторами, как М.Б. Афанасьев, В.В. Сильянов, Ю.А. Кременец, Ю.Д. Шелков.

В настоящее время уровень автомобилизации в некоторых городах уже достигает 280 – 300 тыс. В последние годы интерес к транспортной тематике начинает расти. Например, в Санкт-Петербурге каждые два года проходит международная конференция по организации и безопасности движения. В крупных городах (Москва, Санкт-Петербург) растет число фирм, занимающихся организацией движения, которые используют такие современные программные продукты, как ЕММЕ, РТВ. Вместе с тем, до сих пор отсутствуют национальные руководства по организации движения, например, такие, как НСМ 2000, НБС 2001.

Коллектив TL-ISTU уже в течение нескольких десятилетий следит за совершенствованием НСМ. Темы научных исследований лаборатории выбираются с учетом содержания и направленности руководства. В настоящее время исследовательские работы связаны с такими разделами НСМ, как регулируемые перекрестки, организация движения пешеходов, оценка существующих матриц корреспонденций, организация движения маршрутного транспорта.

В этой статье представлены результаты исследования по уточнению параметров транспортного потока, используемых при проектировании регулируемых пересечений.

Учитывая состояние теории и практики, представляется, что это исследование очень важно в России в области пересечений такого типа, что можно показать на примере Иркутска.

В Иркутске на 600 тыс. жителей насчитывается лишь 70 светофорных объектов. Здесь очень часто отсутствует разметка, что вызвано такими факторами, как отсутствие средств и убеждение в том, что, например, в зимних условиях применение разметки неэффективно. Все это порождает определенные особенности движения на перекрестках. Например, отсутствие разметки и дополнительных светофорных секций для пешеходов приводит к несоблюдению правил движения водителями, которые не уступают пешеходам. Наличие дополнительной дублирующей секции светофора на противоположной стороне перекрестка (рис. 1) приводит к тому, что водители останавливаются на пересечении за стоп-линией или начинают движение раньше включения зеленого сигнала, что соответствует отрицательной стартовой задержке.



**Рис. 1.** Применение дублирующего светофора в Иркутске

Говоря о состоянии методик расчетов, применяемых в России, следует отметить то, что последние руководства по регулируемому пересечению были изданы в 70-е 80-е годы прошлого столетия. Уже много лет не уточнялись такие характеристики транспортного потока, как поток насыщения, временные интервалы и т.д. Основными авторами, занимавшимися этими вопросами были Н.Ш. Никурадзе и Ю.А. Врубель. Первый автор получил очень высокий поток насыщения (2200 атв./ч). Второй – указал на необходимость специальных коэффициентов приведения к легковому автомобилю.

В нашей стране расчет задержек регулирования проводится по формуле Ф. Вебстера. Североамериканские методики до сих пор не известны широким кругам специалистов. Часто понятие стартовых потерь времени понимается как стартовая задержка первого автомобиля в очереди. В литературе не используется понятие эффективного красного времени. Но самая главная и очевидная проблема – это коэффициенты приведения к легковому автомобилю.

В нашей стране коэффициенты приведения к легковому автомобилю принимаются в соответствии с действующим нормативным документом СНиП 2.05.02 – 85 “Автомобильные дороги”. Этот нормативный документ не рассматривает дифференцированно различные условия движения (перегоны дорог и улиц, различные типы пересечений и т.д.) и предполагает постоянные коэффициенты для разных элементов дорожных сетей и улично-дорожных сетей городов. В основе этих коэффициентов приведения — соотношение динамических габаритов транспортных средств при движении на перегонах [2], за исключением кольцевых пересечений [3].

Ниже будут представлены результаты исследований по установлению значений коэффициентов приведения для регулируемых пересечений. Работа базировалась на анализе работ североамериканских и европейских авторов за последние 30 лет (Webster, May, Akcelik, Ahn, and others).

### Теоретические положения

В результате анализа литературы было установлено, что многие авторы для определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю используют линейную регрессию. Sosin J. [8] определял интенсивность движения в приведенных легковых автомобилях по отношению суммарной задержки транспортного потока  $D$  к средней расчетной задержке потока, состоящего только из легковых автомобилей,  $d_S$ .

Врубель Ю.А. определил коэффициенты приведения другим способом, назвав их коэффициентами приведения к легковому автомобилю по потоку насыщения [1]. Рассматривалось отношение величины установившихся интервалов убытия конкретного вида транспортных средств  $T_{Hi}$  к величине установившегося интервала убытия потока легковых автомобилей  $T_{HL}$  ( $T_{HL}$  считался равным 2 с).

Таблица 1

Коэффициенты приведения к легковому автомобилю

Тип транспортного средства	Коэффициенты приведения к легковому автомобилю по данным разных авторов				
	Вебстер	Branston D.	Sosin J.	Врубель Ю.А	СНиП 2.05.02 – 85
Мотоциклы	0,33	0,15	0,6	0,7	0,5 – 0,75
Грузовые автомобили:					
До 2 т.	–	–	–	–	1,5
2 – 6 т.	1,75	1,35	1,6	1,4	2
Более 6 т.	1,75	1,68	–	–	2,5 – 3,5
Автопоезда	–	–	2,8	2,3	3,5 – 6
Автобусы	2,25	1,65	1,7	2,0	3
Троллейбусы	–	–	–	2,0	–
Сочлененные автобусы или троллейбусы	–	–	2,8	2,6	–

Для сопоставления коэффициенты приведения к легковому автомобилю, полученные разными авторами, сведены в табл. 1. Особо следует подчеркнуть отличие резуль-

татов всех исследований от приводимых в СНиП значений. Это еще раз подтверждает необходимость применения специальных коэффициентов приведения.

В данном исследовании для определения коэффициентов приведения была выбрана следующая регрессионная модель:

$$T = \alpha + \sum_{j=1}^{j=m} \beta_j \cdot X_j + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $T$  – время, необходимое для разезда очереди транспортных средств на перекрестке, после включения зеленого сигнала, с;  $\alpha$  – величина задержки, связанная с разгоном автомобилей до скорости, которая преобладает при насыщении, с;  $\beta_j$  – параметры регрессионной модели, выражающие величины временных интервалов транспортных средств типа  $j$ , с;  $X_j$  – количество транспортных средств типа  $j$  в очереди;  $\varepsilon$  – ошибка, отражающая время, вызванное дополнительными факторами, которые не учитываются в модели, с.

Следует отметить, что при определении параметра  $T$  в качестве начального момента необходимо использовать не момент включения зеленого сигнала, а момент начала движения первого транспортного средства в очереди с целью исключения из модели величины дополнительного времени, требуемого для реакции водителя на смену светофорного сигнала, которое влияет на параметр  $\varepsilon$ . Часто водители начинают движение раньше момента включения зеленого сигнала. Это связано с влиянием величины переходного интервала (желтый + полностью красный) на время реакции водителей (Ahn M. 1987 [4]). В России такое явление связано в первую очередь с тем, что на пересечениях устанавливаются дублирующие светофорные секции, расположенные на противоположной стороне от рассматриваемого потока (см. рис. 2).

В качестве конечного момента при определении параметра  $T$  использовался момент прохождения над стоп-линией заднего бампера транспортного средства. Такой выбор позволяет, по мнению авторов, избежать ошибки, которая может быть вызвана в связи с неполным учетом длины последнего в очереди транспортного средства.

Следует отметить, что использование модели (1) позволяет определить сразу несколько параметров транспортного потока. Параметр  $\alpha$  представляет собой первую составляющую  $I_1$  (стартовая задержка) потерянного времени  $L$ . С другой стороны, по результатам обследований очередей транспортных средств, состоящих из легковых автомобилей (при «идеальных условиях»), не трудно установить момент наступления идеального потока насыщения и его величину  $S_0$ .

При определении типов транспортных средств, необходимо было учесть, что существуют принципиально отличающиеся классификации транспортных средств. Так, например, в руководстве НСМ 2000 [6] все типы транспортных средств подразделяются на легковые и грузовые. Авторы считают, что такую классификацию нельзя считать достаточно корректной, поскольку даже длина транспортного средства имеет значительное влияние на величину временного интервала транспортного средства (при разезде из очереди на подходе к перекрестку), а значит и на величину коэффициента приведения к легковому автомобилю. Для примера можно рассмотреть исследовательскую работу, которую провели Kockelman K.M. и Raheel A.S. (1999) [7]. Основной целью этой работы было определение коэффициентов приведения к легковому автомобилю для автомобилей, незначительно отличающихся от легковых автомобилей и имеющих также четыре колеса, как и у легковых автомобилей (автомобили типа “Джип”).

По результатам обработки статистических данных, исследователи сделали следующий вывод: величина временного интервала, а также коэффициента приведения к легковому автомобилю для автомобилей типа “Джип” значительно отличается от соответствующих значений для легкового автомобиля (табл. 2).

Тем не менее, предложенная в HCM 2000 классификация типов транспортных средств является более удобной при выполнении расчетов, несмотря на определенную погрешность при определении величины потока насыщения для реальных условий, а также при определении величины пропускной способности элементов регулируемого перекрестка.

На основании вышеизложенного была предложена классификация типов транспортных средств, представленная в табл. 3. При разработке данной классификации схожие типы транспортных средств, которые редко встречаются на регулируемых пересечениях, были объединены (например, грузовые автомобили до 6 и до 8 тонн).

Таблица 2

Коэффициенты приведения по результатам работы  
Kockelman K.M. и Raheel A.S.

Тип автомобиля	Движение прямо	Движение налево	Движение направо
“Джип” (Small Suv)	1,07	0,96	1,08
Автобус малой вместимости (Van)	1,34	1,06	1,19
Автомобиль с кузовом на базе легкового автомобиля (Pickup)	1,14	1,08	1,16

Таблица 3

Классификация типов транспортных средств

Тип транспортного средства	Пассажировместимость, чел	Грузоподъемность, кг	Длина, м	Идентификационный номер
Легковой автомобиль	до 4	–	–	1
Микроавтобус	5 – 12	–	–	2
Грузовой автомобиль, до 2-х тонн	–	до 2000	до 6,5	3
Автобус средней вместимости	13 – 60	–	–	4
Грузовой автомобиль, от 2-х до 6-и тонн	–	2000 – 6000	до 8	5
Автобус большой вместимости	более 61	–	–	6
Грузовой автомобиль, более 6 тонн	–	более 6000	до 10	7
Сочлененный автобус (троллейбус)	–	–	–	8
Автопоезд	–	–	–	9

### Результаты исследования

Сбор натуральных данных осуществлялся с помощью видеокамеры. Для оцифровки полученных данных использовалось простое программное приложение PCE-GET, специально разработанное на основе Microsoft Access. Нажимая кнопки компьютерной клавиатуры от 1 до 9, исследователь фиксировал прохождение стоп-линии соответствующим типом транспортного средства. После оцифровки видеоматериала в про-

грамме PCE-GET были подготовлены таблицы данных, которые позднее были обработаны в программе Statistica.

Исследование было проведено для 13 полос движения прямого направления, условия движения на которых варьировались.

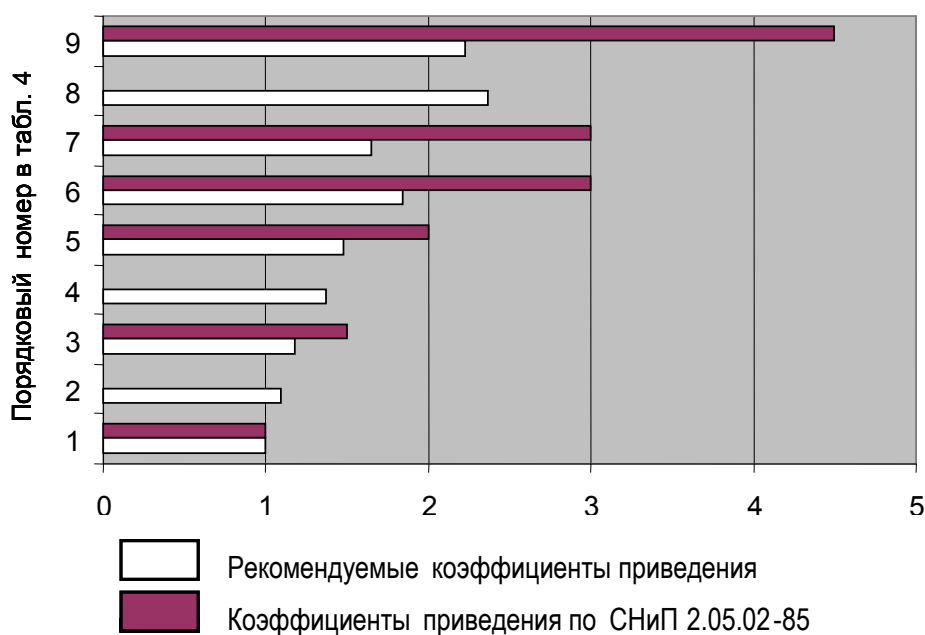
По результатам исследования было установлено, что сходимость регрессионной оценки выполнялась лишь при обследовании более 120 очередей на каждой полосе движения.

Полученные коэффициенты приведения к легковому автомобилю в сравнении с коэффициентами приведения по СНиП 2.05.02 – 85 представлены в табл. 4 и на рис. 2.

**Таблица 4**

Коэффициенты приведения к легковому автомобилю  
на регулируемом перекрестке и стартовая задержка

№ п/п	Тип транспортного средства	Результаты исследования	СНиП 2.05.02 - 85
1	Легковой автомобиль	1,000	1
2	Микроавтобус	1,093	-
3	Грузовой автомобиль, до 2-х тонн	1,179	1,5
4	Автобус малой вместимости	1,367	-
5	Грузовой автомобиль, от 2-х до 6-и тонн	1,480	2
6	Автобус большой вместимости	1,839	3
7	Грузовой автомобиль, более 6 тонн	1,647	2,5 – 3,5
8	Сочлененный автобус / троллейбус	2,362	-
9	Автопоезд	2,231	3,5 - 6
Стартовая задержка, с		1,894	



**Рис. 2.** Коэффициенты приведения к легковому автомобилю на регулируемом перекрестке

При сравнении полученных результатов исследования с уже существующими значениями соответствующих параметров транспортного потока были сделаны следующие выводы:

1. Грузовые автомобили по СНиП имеют значение коэффициентов приведения в диапазоне от 1,5 до 3,5 легк.авт. В то же время по результатам данной работы значения коэффициентов приведения для всех выбранных видов грузовых автомобилей находятся в диапазоне от 1,179 до 1,647 легк.авт.

2. Коэффициенты приведения для автопоездов по СНиП и полученные по результатам данной работы также различны и равны соответственно 3,5 - 6 и 2,231 (легк.авт).

3. В СНиП дан коэффициент приведения для автобусов, значение которого 3 (легк.авт.). Коэффициент приведения для автобусов, полученный в данной работе (1,839) значительно отличается от предлагаемого в СНиП. Таким образом, значения всех коэффициентов приведения, полученных в данной работе, являются ниже значений, данных в СНиП.

Результаты сравнения расчетов режимов регулирования с применением полученных коэффициентов приведения и коэффициентов по СНиП 2.05.02 – 85 показали, что при использовании существующих коэффициентов необходимая величина цикла регулирования оказывается гораздо выше, чем при использовании полученных коэффициентов. При этом для случаев, когда на пересечении наблюдаются большие интенсивности транспортных потоков, в состав которых входят различные транспортные средства, величины задержек при использовании полученных коэффициентов приведения значительно меньше. Так, например, для ряда крупных пересечений, обследованных в ходе данного исследования, при расчете цикла регулирования по формуле Вебстера величина задержки снижалась до 50%.

Значение стартовой задержки попадает в диапазон значений (от 1 до 2 (с)), представленных в НСМ 2000 [6], что также говорит об адекватности выбранной регрессионной модели.

Для определения величины идеального потока насыщения были проанализированы данные, полученные при обследовании полос с «идеальными» условиями движения. Распределение временного интервала в зависимости от порядкового номера легкового автомобиля в очереди представлены на рис. 3.

Было установлено, что выравнивание данного распределения имеет место после четвертого транспортного средства в очереди. Следует также отметить, что с 10-ого по 14-й легковой автомобиль величина временного интервала все же снизилась ниже уровня временного интервала насыщения (с):

$$\bar{h}_{\text{насыщ}} = 1,8904 \approx \frac{\sum_{i=10}^{14} h_i}{5} = 1,56. \quad (2)$$

Величина идеального потока насыщения составила 1904,3 (легк.авт/ч), что соответствует значению по НСМ 2000 (табл. 5).

**Таблица 5**

Сравнение значений идеального потока насыщения

Наименование источника	Значение идеального потока насыщения $S_{\text{идеал}}$ , (легк.авт/ч)
Highway Capacity Manual, 1985	1800
Highway Capacity Manual, 2000	1900
Полученное значение	1904,3

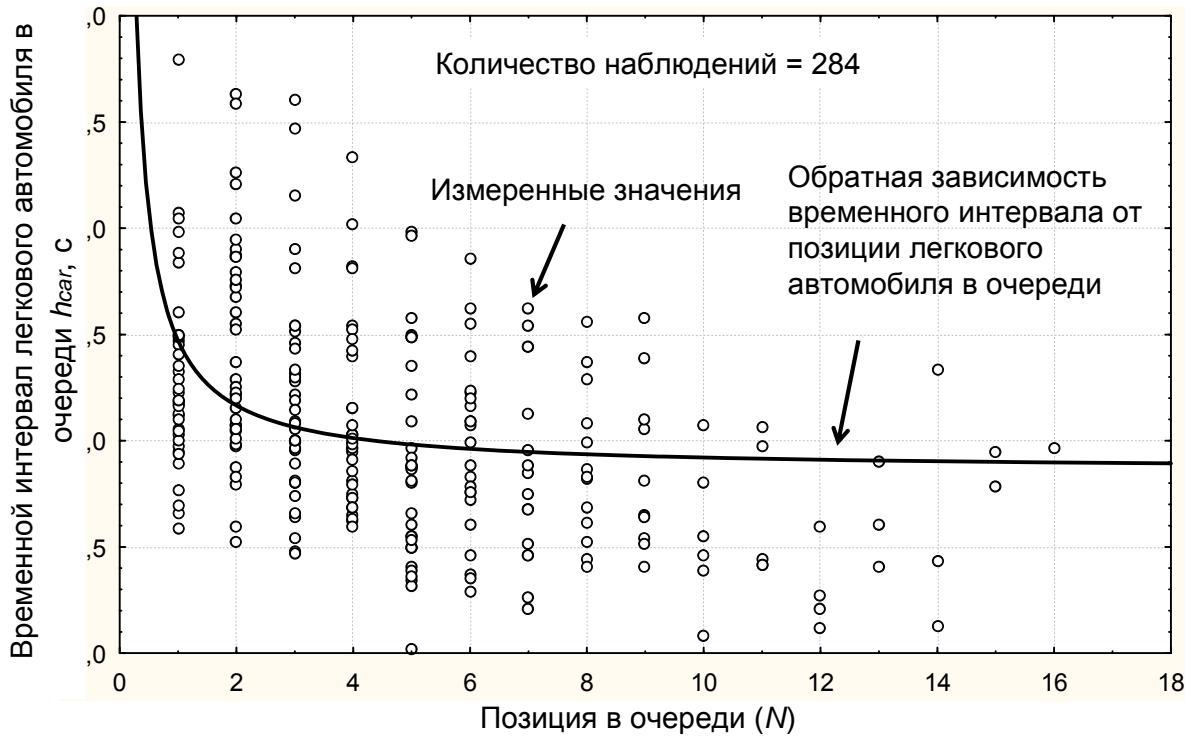


Рис. 3. Распределение временных интервалов для очередей легковых автомобилей по данным всех отобранных полос движения (средние значения; аппроксимация полиномом 5-ой степени; обратная зависимость)

Подход к перекрестку	На восток		На запад		На север		На юг	
Номер фазы	2		2 2		1		1	
Группа движения								
Приведенная интенс. движ-я, V (прив.ед/ч)	1,053		300 300		1000		1000	
Приведенный поток насыщ-я, S (прив.ед/ч)	1809,524		1684,667 1507,333		3161,262		1912,818	
V/S отношение	0,001		0,178 0,199		0,316		0,523	
Критическая группа движ-я в фазе, (°)			*				*	
Длительность цикла регулирования, T (с)					72			
Эффективное зеленое время, g (с)	29		29 29		33		33	
Движение пешеходов в фазе №	2 1		1 1		1 1		2 2	
Мин. зеленое время для пешеходов, (с)	23,2 23,367		9,7 9,7		9,7 9,7		9,7 9,7	
Длительность полностью пешеходной фазы, (с)								
Сумма критических v/s отношений					0,722			
Потерянное время за цикл, L (с)					8			
Критическое отношение для перекрестка, Xс=Yс*T/(T-L)					0,812			
Доля зеленого времени, g/T	0,4		0,4 0,4		0,46		0,46	
Пропускная способность группы полос, C (прив.ед/ч)	728,84		678,55 607,12		1448,91		876,71	
V/C отношения	0		0,44 0,49		0,69		1,14	
Задержка в группе движения, d (с/прив.ед)	12,96		17,8 18,93		18,09		96,17	
Уровень обслуживания для группы движ-я	В		В В		В		F	
Задержка на подходе, da (с/прив.ед)	12,96		18,36		18,09		96,17	
Уровень обслуживания на подходе	В		В		В		F	
Задержка на перекрестке, d (с/прив.ед)	48,17				Уровень обслуживания на перекрестке		D	

Рис. 4. Окно результатов расчета в программе СВЕТОФОР



Для облегчения применения методики НСМ было разработано программное приложение «Светофор» (рис. 4), предназначенное для оценки уровня обслуживания и расчета режима регулирования на пересечениях. В основу данной программы входит методика НСМ 2000, а также полученные коэффициенты приведения к легковому автомобилю.

### Дальнейшие исследования

Мы считаем, что это исследование требует дальнейшего развития и особое внимание необходимо уделить случаям с движением конфликтных левоповоротных потоков, а также потоков, конфликтующих с пешеходными потоками. Необходимость таких исследований обусловлена отличием в манере поведения водителей в нашей стране и за рубежом.

Еще одно направление, развивающееся в TL-ISTU – это коридорный анализ, заключающийся в оценке матриц корреспонденций с использованием замеров с ошибками.

### Список литературы

1. Врубель Ю.А. О потоке насыщения. Белорус. политех. ин-т. Минск, 1988. – 7 с. – Рук. деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663 – ат 89.
2. Методические указания по проектированию кольцевых пересечений на автомобильных дорогах. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1980. – 76 с.
3. Никурадзе Н.Ш. Исследования режимов светофорного регулирования на сложных пересечениях в одном уровне. Автор. дис. ... канд. техн. наук. М., 1981. – 17 с.
4. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
5. Ahn Manfred. Veraenderung der Leistungsfahigkeit staedtischer Hauptverkehrsstrassen ueber die Tageszeit. // Shriftenreihe, Lerstuhl fuer Verkerswesen Ruhr-Universitaet Bochum, HEFT 4, 1987, 143 p.
6. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection. – Traffic Eng. and Contr., 1979, v20, N8-9, p. 390 – 396.
7. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
8. Kockelman K.M. and Raheel A.S. Effect of vehicle type on the capacity of signalized intersections. – The University of Texas at Austin, 1999. - 23 p.
9. Sosin J.A., Delays at intersections controlled by fixed cycle traffic signals. // Traffic Eng. and Contr., 1980, v21, N5, p. 264 – 265.
10. Teply S., Allingham D., Richardson D., Stephenson B. Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections.// Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada, 1995. – 115 p.
11. Webster F.V., Cobbe B.M. Traffic Signals | Road Research Technical Paper N56, HMSQ, London, 1966 – 111 p.