

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДД НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

А.Г. Левашев, И.М. Головных  
(Иркутский государственный технический университет)  
E-mail: [alexey.levashev@mail.ru](mailto:alexey.levashev@mail.ru)  
[road@istu.irk.ru](mailto:road@istu.irk.ru)

В последние годы темпы роста автомобильного парка в России очень высоки и в некоторых ее регионах доходят до 10% в год. Например, за период 1990 — 2000 гг. уровень автомобилизации в г. Иркутске вырос в 2,5 раза с 80 ед./1000 жит. до 200 автомобилей на 1000 жителей, при этом по данным ГИБДД г. Иркутска количество индивидуального транспорта увеличилось в 2 раза. В среднем по России уровень автомобилизации составил 170 автомобилей на 1000 жителей.

Рост автомобильного парка сопровождается насыщением городов средствами регулирования дорожного движения. Так, например, в Иркутске при населении 600 тыс. чел. количество светофорных объектов достигло 70, а в городе Юджин (штат Орегон, США) при населении 140 тыс. жителей число светофорных объектов – 180. Таким образом, насыщение городов средствами регулирования дорожного движения может достичь и даже превышать уровень 1 светофорный объект на 1000 жителей

( <http://www.ci.eugene.or.us/> ).

В связи с необходимым увеличением количества светофорных объектов в городах Российской Федерации, усиливаются требования к качеству проектирования таких объектов и режимов регулирования. При этом одним из путей повышения качества проектирования организации движения на регулируемых пересечениях является уточнение расчетных характеристик потоков, разработка или адаптация методик проектирования и оценки эффективности режимов регулирования.

Тем не менее, в настоящее время решение практических задач в области проектирования объектов светофорного регулирования в Российской Федерации сопряжено с рядом объективных трудностей, например, таких, как отсутствие новых методических руководств, содержащих подробные справочные данные по потокам насыщения, основывающиеся на результатах исследований последних лет. Последние немногочисленные научные публикации по данной теме российских специалистов и специалистов стран СНГ приходится на прошлое десятилетие. Обновление и коррекция справочных данных принципиально важны, так как отчетливо прослеживается влияние непрерывно изменяющихся динамических характеристик современного автомобильного парка. Кроме того, даже первое ознакомление с публикациями показывает, что специалисты России и СНГ приводят разные определения понятий потока насыщения, потерянному времени, эффективной длительности фаз, иногда существенно отличающихся от определений, содержащихся в зарубежной специальной литературе и периодике.

Основным параметром, на который необходимо опираться при расчете потока насыщения, а значит и пропускной способности и задержек и длины очереди, являются коэффициенты приведения различных видов транспортных средств 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]. Исключением являются кольцевые пересечения, для расчетов которых применяются коэффициенты приведения, основанные на соотношении минимальных интервалов между автомобилями различных типов при движении непосредственно на пересечениях этого типа [3].

Вместе с тем, специалисты признают необходимость использования в расчетах режимов регулирования, задержек и т.д. специальных коэффициентов приведения к легковым автомобилям [1, 5, 8, 10].

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,  $d_s$

$$f(k) = D / d_s. \quad (1)$$

Отношение  $f(k)$  рассматривалось как линейная функция

$$f(k) = k_1X_1 + k_2X_2 + \dots + k_iX_i, \quad (2)$$

где  $k_i$  — число транспортных средств типа  $i$  в потоке;  $X_i$  — коэффициент приведения транспортных средств типа  $i$  к легковому автомобилю (табл. 1).

Врубель Ю.А. определил коэффициенты приведения другим способом, назвав их коэффициентами приведения к легковому автомобилю по потоку насыщения [10]. Рассматривалось отношение величины установившихся интервалов убытия конкретного вида транспортных средств  $T_{Hi}$  к величине установившегося интервала убытия потока легковых автомобилей  $T_{НЛ}$  ( $T_{НЛ}$  считался равным 2 с):

$$K_{Hi} = T_{Hi} / T_{НЛ}. \quad (3)$$

Для сопоставления коэффициенты приведения к легковому автомобилю, полученные разными авторами, сведены в таблицу 1.6. Особо следует подчеркнуть отличие результатов всех исследований от приводимых в СНиП значений. Это еще раз подтверждает необходимость применения специальных коэффициентов. Следует так же отметить близость значений коэффициентов, полученных Врубелем Ю.А и польским автором, хотя ими использовались совершенно разные исходные теоретические предпосылки и методики проведения исследований.

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	–

В своей диссертационной работе А.Г. Левашев провел исследование, направленное на определение коэффициентов приведения к легковому автомобилю в России.

На основе проведенного анализа литературы для определения этих параметров была выбрана следующая регрессионная модель:

$$T = \alpha + \sum_{j=1}^{j=m} \beta_j \cdot X_j + \varepsilon, \quad (4)$$

где  $T$  – время, необходимое для разъезда очереди транспортных средств на перекрестке, после включения зеленого сигнала, с;  $\alpha$  – величина задержки, связанная с разгоном автомобилей до скорости, которая преобладает при насыщении (стартовая задержка), 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.

Автор предлагает при определении параметра  $T$  в качестве начального момента использовать не момент включения зеленого сигнала, как это часто принимают, 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. Часто водители начинают движение раньше момента включения зеленого сигнала, что вызвано дополнительным влиянием величины переходного интервала (желтый + полностью красный) на время реакции водителей (Ahn M. 1987 [4]). Это еще раз подтверждает необходимость использования в качестве начального момента не момент включения зеленого сигнала, а момент начала движения первого транспортного средства. Это позволит сократить величину параметра  $\varepsilon$  в рассматриваемой модели.

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

При определении типов транспортных средств, необходимо было учесть, что существуют принципиально отличающиеся классификации транспортных средств. Так, например, в современном американском руководстве по пропускной способности дорог (Highway Capacity Manual 2000 [6]) принято подразделять все типы транспортных средств на легковые и грузовые транспортные средства. При этом грузовыми транспортными средствами считаются те, которые имеют больше, чем 4 колеса (предполагается, что задний мост грузового автомобиля имеет спаренные колеса). Автор считает, что такую классификацию нельзя считать достаточно корректной, поскольку даже длина транспортного средства имеет значительное влияние на величину временного интервала транспортного средства (при разъезде 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”).

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

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 американском руководстве классификация типов транспортных средств является более удобной при выполнении расчетов, не смотря на определенную погрешность при определении величины потока насыщения для реальных условий, а также при определении величины пропускной способности элементов регулируемого перекрестка.

Таблица 3.

Классификация типов транспортных средств

Тип транспортного средства	Пассажиро-местность, 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

На основании вышеизложенного А.Г. Левашевым была предложена классификация типов транспортных средств (табл. 3). При разработке данной классификации автор руководствовался необходимостью объединения в группы схожих типов транспортных средств, которые редко встречаются на регулируемых пересечениях.

Таблица 4.

Коэффициенты приведения к легковому автомобилю на регулируемом перекрестке

Тип транспортного средства	Результаты исследования	СНиП 2.05.02 - 85
Легковой автомобиль	1,000	1
Микроавтобус	1,093	-
Грузовой автомобиль, до 2-х тонн	1,179	1,5
Автобус средней вместимости	1,367	-
Грузовой автомобиль, от 2-х до 6-и тонн	1,480	2
Автобус большой вместимости	1,839	3
Грузовой автомобиль, более 6 тонн	1,647	2,5 – 3,5
Сочлененный автобус троллейбус	2,362	-
Автопоезд	2,231	3,5 - 6

Сбор статистических данных осуществлялся с помощью видеосъемки. Оцифровка видеосъемки производилась с помощью специально разработанной автором компьютерной программы “PCE-GET”, позволяющей исключать механические ошибки при занесении информации в базу данных, а также легко формировать данные для статистического анализа. После чего статистический анализ осуществлялся с помощью программы “Statistica”.

Анализируя табл. 3, можно сделать следующие выводы:

1. Значения полученных в данной работе коэффициентов приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю при движении на регулируемом пересечении являются в целом ниже соответствующих коэффициентов по СНиП 2.05.02 – 85 (табл. 4). В то же время некоторые коэффициенты близки по значению коэффициентам, которые были получены другими авторами. При этом, несмотря на то, что данные коэффициенты были рассчитаны по результатам обследований только полос для прямонаправленного движения, они могут быть использованы и для полос движения налево и направо. Такой вывод можно сделать, проанализировав табл. 1 и 3, из которой видно, что отличие коэффициентов приведения для движения в различных направлениях незначительно, по сравнению с отличием полученных в данной работе коэффициентов приведения и коэффициентов приведения, представленных в СНиП. Тем не менее, для получения полного представления о состоянии транспортного потока на регулируемом пересечении, необходимо провести ряд работ, направленных на определение коэффициентов приведения транспортных средств, движущихся в различных направлениях.
2. Полученное по результатам регрессионного анализа значение стартовой задержки составляет 1,894 с и попадает в диапазон значений (от 1 до 2 с), представленных в НСМ 2000. Это еще раз подтверждает правильность выбранной модели.

**Эффективность использования полученных в данной работе коэффициентов приведения** к легковому автомобилю определялась на основе сравнения работ режимов регулирования на одном из действующих в Иркутске перекрестков при использовании полученных коэффициентов приведения и коэффициентов приведения, представленных в СНиП 2.05.02 – 85.

При этом была использована разработанная автором компьютерная программа “Светофор 1.0”, а также современная методика определения объемов вредных выбросов и расхода топлива при движении на регулируемом пересечении, представленная в канадском руководстве по пропускной способности регулируемых пересечений (Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections 1995) [9].

Таблица 5.

Результаты измерения интенсивностей движения на регулируемом пересечении ул. Маяковского и ул. 2-ая Железнодорожная (г. Иркутск 2004 г.)

Тип транспортного средства	На Восток			На Север	
	Налево	Прямо	Направо	Прямо	Направо
Легковой	276	798	655	600	200
Микроавтобус	120	210	150	372	110
Грузовой автомобиль < 2 т.	102	102	65	156	60
Автобус средней вместим.	60	36	20	36	10
Грузовой автомобиль 2-6 т.	6	72	30	48	20
Автобус большой вместим.	18	36	30	60	20
Грузовой автомобиль > 6 т.	0	18	40	84	0
Автобус сочлененный	3	12	5	0	0
Автопоезд	0	0	10	48	0

Интенсивность движения, измеренная на рассматриваемом регулируемом пересечении, представлена в табл. 5.

Таблица 6.

Результаты расчета длительностей основных тактов и цикла регулирования для двух случаев

<b>Расчет 1 (коэффициенты приведения по СНиП)</b>					
Направление	На восток			На север	
	Налево	Прямо	Направо	Прямо	Направо
Отношение потоков (фазовый коэф.), v/s	0,499	0,473	0,441	0,403	0,374
Сумма фазовых коэфф-в для критич. групп, $Y_c = \sum(v/s, \text{ критических групп})$	0,902				
Полное потерянное время в цикле, L (с)	8				
Длительность цикла регулирования, C (с)	173				
Длительности зеленого времени, g (с)	91			74	

<b>Расчет 2 (коэффициенты приведения по результатам исследования)</b>					
Направление	На восток			На север	
	Налево	Прямо	Направо	Прямо	Направо
Отношение потоков (фазовый коэф.), v/s	0,384	0,396	0,366	0,308	0,307
Сумма фазовых коэфф-в для критич. групп, $Y_c = \sum(v/s, \text{ критических групп})$	0,703				
Полное потерянное время в цикле, L (с)	8				
Длительность цикла регулирования, C (с)	57				
Длительности зеленого времени, g (с)	28			21	

Из табл. 6 видно, что длительность цикла регулирования превышает допустимый максимум, 120 с, поэтому в соответствии с величинами фазовых коэффициентов принимаем длину цикла регулирования, зеленое время 1-ой и 2-ой фаз равными 120 с, 62 с, и 50 с соответственно.

В табл. 7 представлен расчет пропускных способностей, задержек регулирования, и уровней обслуживания (LOS).

Анализируя данные таблиц, можно сделать следующие выводы:

1. При подсчете эквивалента интенсивностей движения использование коэффициентов приведения по СНиП дает большие значения интенсивностей, чем использование коэффициентов, полученных в данном исследовании. Это приводит к увеличению длительностей основных тактов и цикла регулирования.

2. Из-за увеличения длительностей основных тактов и цикла регулирования величины задержек возрастают. Таким образом, при проектировании регулируемого пересечения использование коэффициентов приведения по СНиП приводит к неоправданно большим значениям основных тактов и цикла регулирования и, соответственно, к большим значениям задержек регулирования.

3. В рассмотренном примере величина задержки регулирования при использовании коэффициентов приведения, полученных в данном исследовании, позволяет уменьшить величину задержки в 1,56 раза ( $28,56/18,27$ ) или более, чем на 36%.

Принимая коэффициент суточного максимума, равным 0,1, определим для данного перекрестка предполагаемое снижение общей задержки в год по следующей формуле:

$$E = \frac{\sum V_i \cdot \Delta d_i}{3600 \cdot 0,1} \cdot 365 =$$

$$= \frac{(693,7 + 1502,3 + 1181,1 + 1754,7 + 495,8)(28,56 - 18,27)}{3600 \cdot 0,1} \cdot 365 \approx 587,2 \text{ ч/год}, \quad (5)$$

где  $\sum V_i$  – суммарная пиковая интенсивность на перекрестке, прив.ед/ч;  $\Delta d_i$  – разность общих задержек для перекрестка для случая использования коэффициентов приведения, представленных СНИП 2.05.02-85, и коэффициентов, полученных по результатам данной работы, с; E – снижение общей задержки на перекрестке, ч/год.

Таблица 7.

Пропускная способность, задержка регулирования,  
и уровень обслуживания

<b>Расчет 1 (коэффициенты приведения по СНИП)</b>					
Рассчитываемые параметры	На Восток			На Север	
	Налево	Прямо	Направо	Прямо	Направо
Прив. интенс-ть движ-я, v (прив.ед/ч)	693,7	1503,2	1181,1	1754,7	495,8
Пропуск. спос-ть группы дв-я, (прив.ед/ч)	932,6	1963,3	1668,8	2375	672,9
v/c отношение, X	0,74	0,77	0,71	0,74	0,74
Общая доля зеленого времени, g/C	0,52	0,52	0,517	0,42	0,42
Задержка в группе, d (с)	27,73	26,04	24,7	31,4	36,46
Уровень обслуживания на подходе (LOS)	C	C	C	C	D
Задержка на перекрестке, d <sub>i</sub> (с)	<b>28,56</b>		Уровень обслуживания на перекрестке (LOS)		<b>C</b>
<b>Расчет 2 (коэффициенты приведения по результатам исследования)</b>					
Рассчитываемые параметры	На Восток			На Север	
	Налево	Прямо	Направо	Прямо	Направо
Прив. интенс-ть движ-я <sup>2</sup> , v (прив.ед/ч)	693,7	1503,2	1181,1	1754,7	495,8
Пропуск. спос-ть группы дв-я, (прив.ед/ч)	932,6	1963,3	1668,8	2375	672,9
v/c отношение, X	0,79	0,81	0,75	0,81	0,81
Общая доля зеленого времени, g/C	0,49	0,49	0,487	0,38	0,38
Задержка в группе, d <sub>A</sub> (с)	19,26	16,26	15,15	19,25	26,93
Уровень обслуживания на подходе (LOS)	B	B	B	B	C
Задержка на перекрестке, d <sub>i</sub> (с)	<b>18,27</b>		Уровень обслуживания на перекрестке (LOS)		<b>B</b>

Снижение среднего расхода топлива и вредных выбросов в окружающую среду определим, используя современную методику, представленную в канадском руководстве по пропускной способности регулируемых пересечений (*Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*) [9]. Согласно этой методике расход топлива для всего перекрестка в час определяется по следующей формуле:

$$U(kg) = \frac{\left[ \sum_i (N_{si} \cdot u_{stop\ v}) + \sum_i (d_{si} \cdot q_i \cdot u_{idle}) + \sum_i (q_i \cdot u_{cruise}) \right]}{1000}, \quad (6)$$

где  $U(kg)$  – оценка расхода топлива для всего перекрестка, кг/ч;

$N_{si}$  – количество остановок автомобилей на полосе  $i$ , остановок/ч;

$u_{stop\ v}$  – дополнительный расход топлива легкового автомобиля, возникающий за счет ускорения и замедления автомобиля, г/остановка (определяется по табл. 8)

$q_i$  – интенсивность прибытия транспортных средств к перекрестку на поле  $i$ , прив.ед./ч;

$d_{si}$  – средняя задержка автомобиля без движения, с/прив.ед.;

$u_{idle}$  – дополнительный расход топлива для автомобиля при работе двигателя на холостом ходу, г/с (определяется по табл. 8);

$u_{cruise}$  – расход топлива легкового автомобиля на дистанции 100 метров при средней скорости свободного движения на рассматриваемом участке, г/100 м (определяется по табл. 8).

При этом последняя компонента в числителе может опускаться при определении приблизительной величины.

Таблица 8.

Параметры, используемые при вычислении расхода топлива и вредных выбросов для легкового автомобиля (данный на 2000 год)

Определяемое вещество	$u_{idle}$ (г/с)	$u_{stop\ v}$ или $e_{stop\ v}$ (г/остановка) для следующих скоростей свободного движения			$u_{cruise\ v}$ или $e_{cruise\ v}$ (г/100 м) для следующих скоростей свободного движения		
		40	50	60	40	50	60
Топливо	0,267	3,89	5,21	6,63	2,74	4,15	6,12
СО	0,0837	1,01	1,35	1,69	0,546	0,817	1,174
NO <sub>x</sub>	0,0012	0,120	0,182	0,0254	0,022	0,040	0,067

Количество остановок автомобилей на полосе ( $N_s$ ) определяется по формуле:

$$N_s = t_e \cdot q(c - g_e) / (60 \cdot c(1 - y)), \quad (7)$$

где  $t_e$  – период обследования, мин;

$y$  – фазовый коэффициент;

$c$  – длительность цикла регулирования, с;

$g_e$  – эффективная длительность зеленого сигнала, с;

$q$  – интенсивность прибытия транспортных средств, прив.ед./ч.

Величина задержки без движения здесь определяется по формуле:

$$d_s = k_1 d_1 + d_2, \quad (8)$$

где  $k_1$  – поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от длительности красного сигнала (см .табл. 9);

$d_1$  – составляющая задержки регулирования, определяемая при условии постоянного процесса прибытия транспортных средств к регулируемому перекрестку (стандартная задержка), с/прив.ед.;

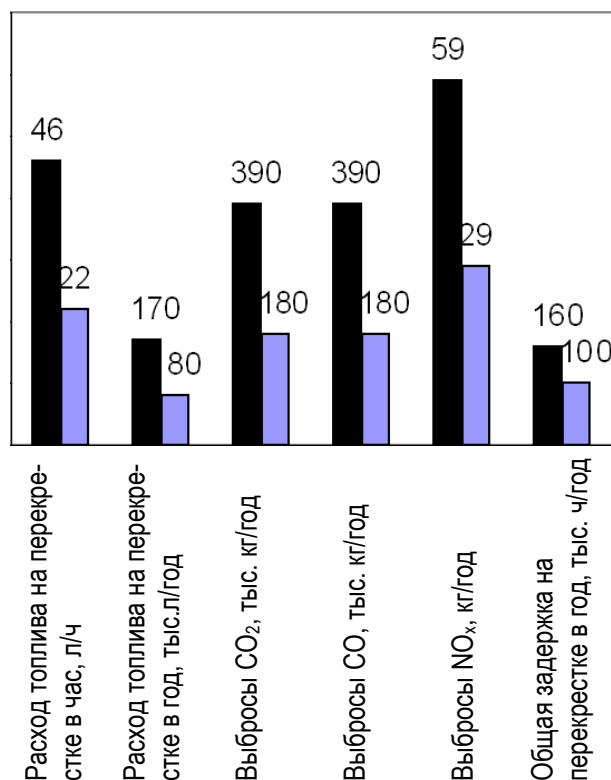
$d_2$  - составляющая задержки регулирования, определяемая при условии случайного процесса прибытия транспортных средств к регулируемому перекрестку (дополнительная задержка или задержка от перенасыщения), с/прив.ед.



Таблица 9.

Коэффициент  $k_1$  для приведения стандартной задержки

Красный сигнал, с	20	25	30	40	50	60	70	80	$\geq 90$
$k_1$	0,36	0,46	0,56	0,71	0,76	0,76	0,76	0,76	0,83



Величина расхода топлива в литрах бензина определяется следующим образом:

$$U(L) = 1,35 \cdot U(kg), \quad (9)$$

где  $U(L)$  – расход топлива, л/ч.

В соответствии с этой методикой объем выбросов  $CO_2$  в окружающую среду на регулируемом пересечении определяется по следующей формуле:

$$E_{CO_2} = 3,12 \cdot U(kg), \quad (10)$$

где  $E_{CO_2}$  – общий объем выбросов  $CO_2$ , кг.

Вещества, входящие в состав вредных выбросов в окружающую среду, определяются по формуле:

$$E = \frac{\left[ \sum_i (N_{si} \cdot e_{stop\ v}) + \sum_i (d_{si} \cdot q_i \cdot e_{idle}) + \sum_i (q_i \cdot e_{cruise}) \right]}{1000}, \quad (11)$$

где  $E$  – оценка расхода топлива для всего перекрестка, кг/ч;

$N_{si}$  – количество остановок автомобилей на полосе  $i$ , остановок/ч;

$e_{stop\ v}$  – дополнительный объем выбросов, возникающий за счет ускорения и замедления автомобиля, г/остановка (определяется по табл. 8)

$q_i$  – интенсивность прибытия транспортных средств к перекрестку на поле  $i$ , прив.ед./ч;

$d_{si}$  – средняя задержка автомобиля без движения, с/прив.ед.;

$e_{idle}$  – дополнительный объем выбросов для автомобиля при работе двигателя на холостом ходу, г/с (определяется по табл. 8);

$e_{cruise}$  – дополнительный объем выбросов у легкового автомобиля при движении на дистанции 100 метров при средней скорости свободного движения на рассматриваемом участке, г/100 м (определяется по табл. 8).

При этом последняя компонента в числителе может опускаться при определении приближительной величины.

В соответствии с методикой, представленной в канадском руководстве были рассчитаны величины снижения расхода топлива, а также вредных выбросов для легкового автомобиля и представлены на рис.1 вместе с величинами задержки регулирования и величинами общих затрат времени при движении на данном пересечении в год.

Анализируя данный рис. 1, можно сделать вывод, что применение полученных коэффициентов приведения к легковому автомобилю позволит более качественно проектировать режимы регулирования в городах России, а, следовательно, и повысить уровень обслуживания на них. Также это позволит значительно снизить объемы расхода топлива и вредных выбросов в окружающую среду при движении на перекрестке. Это еще раз подтверждает целесообразность применения установленных коэффициентов приведения к легковому автомобилю.

### **Библиография**

1. Врубель Ю.А. О потоке насыщения. Белорус. политех. ин-т. Минск, 1988. – 7 с. – Рук. деп. в ЦБНТИ Минавтогтранса РСФСР, № 663 – ат 89.
2. Методические указания по проектированию кольцевых пересечений на автомобильных дорогах. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1980. – 76 с.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
4. Ahn Manfred. Veraenderung der Leistungsfahigkeit staedtischer Hauptverkehrsstrassen ueber die Tageszeit. // Schriftenreihe, Lehrstuhl fuer Verkerswesen Ruhr-Universitaet Bochum, HEFT 4, 1987, 143 p.
5. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection. – Traffic Eng. and Contr., 1979, v20, N8-9, p. 390 – 396.
6. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
7. 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.
8. Sosin J.A., Delays at intersections controlled by fixed cycle traffic signals. // Traffic Eng. and Contr., 1980, v21, N5, p. 264 – 265.
9. Tepley 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.
10. Webster F.V., Cobbe B.M. Traffic Signals | Road Research Technical Paper N56, HMSQ, London, 1966 – 111 p.