

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА НАСЫЩЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ Г. БАРНАУЛА

С.А. Ульрих, В.И. Ведяшкин, Д.Ю. Каширский

Представлено исследование скоростного режима транспортного потока по основным улицам города в различные периоды времени, расположение «проблемных» пересечений в городе, анализ методик потоков насыщения и алгоритм расчета величины потока насыщения по предлагаемой методике.

Ключевые слова: дорожное движение, поток насыщения, задержки транспортных средств, коррекция потока насыщения.

Рост числа автомобильного транспорта в Барнауле и, как следствие, повышение интенсивности движения транспортных средств (ТС) на улично-дорожной сети (УДС) города приводит к снижению их скоростей движения, возникновению задержек на основных транспортных развязках, ухудшению условий движения, ухудшению экологической обстановки в городской черте негативно воздействующих на человека, росту аварийности и т.п. Все это обусловлено сложившейся диспропорцией между темпами развития УДС (Рисунок 1) и темпами роста количества автомобильного транспорта (Рисунок 2).

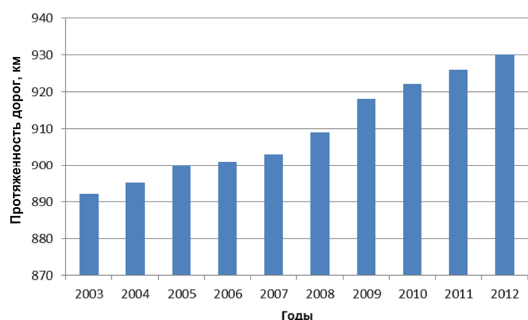


Рисунок 1 – Протяженность дорог в г. Барнауле

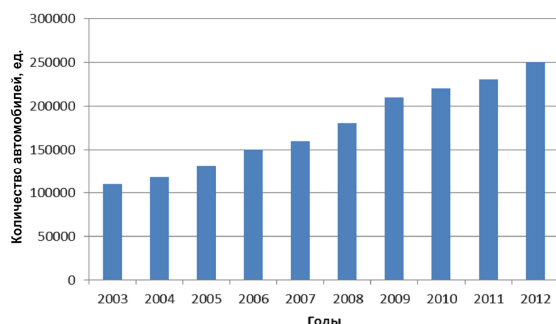


Рисунок 2 – Количество автомобилей в г. Барнауле

Проблема транспортных заторов с каждым годом становится серьезнее для нашего города. В Барнауле ежегодно прибавляется 10...12 тысяч автомобилей. Однако существующая сложная ситуация начала формироваться задолго до начала усиленного роста количества транспорта. Не говоря о плотной застройке города можно отметить, что много ошибок было заложено в 90-е годы – необходимо было проектировать транспортные развязки внутри города, а не выделять участки под застройку элитных домов с инфраструктурой вплотную к проезжей части.

Проводимые мероприятия в сфере организации дорожного движения (ОДД), как правило, локальны, плохо взаимосвязаны и не составляют в целом единую общегородскую систему. Созданная в Барнауле система «Зеленая волна», с центральным управляющим пунктом, на базе МУП «Барнаулгорсвет» ожидаемой эффективности не приносит, т.к. не было направлено нужное количество средств на техническое оборудование данных мероприятий, также не соблюдены все условия по внедрению «зеленой волны» (например, наличие нерегулируемых пешеходных переходов).

Таким образом, для выявления «проблемных» пересечений в городе было проведено исследование скоростного режима транспортного потока по основным улицам в различные периоды времени, которое проводилось с помощью программных комплексов «Яндекс пробки» и автоматизированная система управления (АСУ) «НАВИГАЦИЯ».

АСУ «НАВИГАЦИЯ» на базе «Горэлектротранс», позволила провести сбор сведений (скорость ТС, место нахождения, отставание/опережение от графика) обо всех подвижных единицах пассажирского транспорта,

находившихся на маршруте (Рисунок 3), для стабилизации движения которых в режиме On-line происходит корректировка графиков их движения с помощью устройства Глонасс.

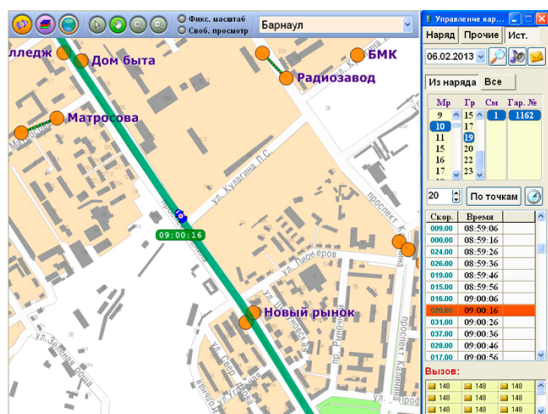


Рисунок 3 – Параметры движения общественного транспорта в АСУ «НАВИГАЦИЯ»

В результате исследования удалось выявить «узкие» места на УДС города. Однако скорость транспортного потока нельзя оценивать по скорости движения маршрутных ТС, так как они производят остановки для посадки или высадки пассажиров, снижение скорости перед остановочными пунктами, маневренность автобусов уступает маневренности легковых ТС. Вследствие чего был произведен анализ по тем же критериям, в программе «Яндекс пробки», который показал разницу скоростей движения общественного и легкового транспорта на 15-20%.

Также после обследования были получены данные о скоростном режиме для 61 улицы отдельно в обоих направлениях и для разных часов суток, с учетом ограничений максимальных разрешенных скоростей.

В ходе обработки полученных результатов, определялось отклонение скоростного режима на всех участках, относительно значений ограничения максимально разрешенной скорости движения ТС. При определении критерия, позволяющего осуществить выборку неблагоприятных участков, данные по отклонениям скоростей потока от разрешенной скорости усреднялись до единого значения за один день. В ходе выполнения данной работы были определены временные интервалы с 8 до 9 и с 18 до 19 часов, в период которых наблюдались максимальные по протяженности заторы и резкое снижение скорости транспортного потока на улицах г.Барнаула.

В конечном итоге все регулируемые пересечения, на которых отклонения скорости

(за половину времени обследования) превышают среднее значение отклонения, представлены на рисунке 4.

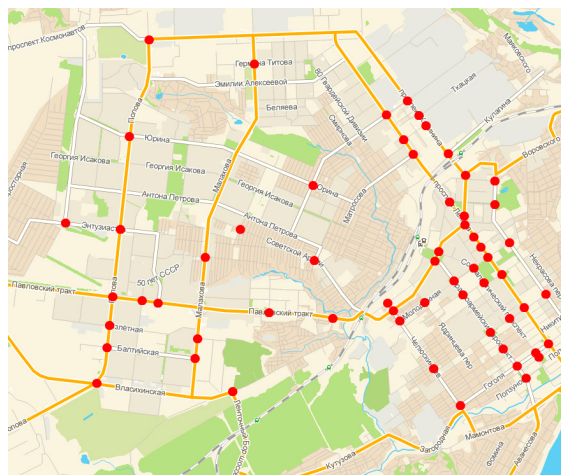


Рисунок 4 – Расположение «проблемных» пересечений в городе Барнауле

Данные регулируемые пересечения, можно рассматривать, как объекты, нуждающиеся в оптимизации светофорных циклов.

При изучении транспортных потоков на этих пересечениях было выделено несколько основных параметров, влияющих на режим движения одним из которых является поток насыщения. Последний не всегда соответствует заданным программам светофорных объектов.

Анализ работ исследователей разных стран показал, что каждый автор формулировал понятие потока насыщения по - своему. Например, Кременец Ю.А. [1, 2] определяет поток насыщения как максимальную интенсивность разезда очереди при полностью насыщенной фазе. Такая оценка потока насыщения является традиционной. Значительная часть специалистов рассматривает поток насыщения как установившуюся интенсивность движения через стоп - линию из очереди большой длины. По мнению Вебстера [5] поток насыщения достигается, тогда, когда имеется бесконечная очередь транспортных средств, длительность зеленого сигнала для которой равна 100% времени цикла регулирования (Рисунок 5).

В современном американском руководстве по пропускной способности дорог (HCM2000) [6] под потоком насыщения понимается интенсивность движения, с которой транспортные средства проезжают перекресток при нормальных условиях движения (Рисунок 6).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА НАСЫЩЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ Г. БАРНАУЛА

Зеленый сигнал при этом является постоянно доступным, а транспортные средства не испытывают потерянное время. Величина потока насыщения измеряется в автомобилях в час зеленого времени или в автомобилях в час зеленого времени на одну полосу движения.

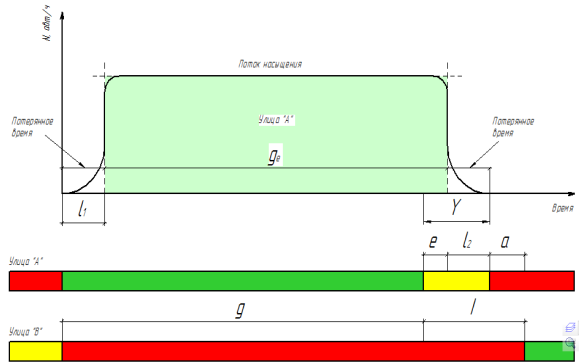


Рисунок 5 – Эффективная длительность фазы:
 g - период горения разрешающего сигнала;
 l - период горения промежуточного такта;
 l_1 - стартовая задержка; e - время «прорыва» на желтый сигнал; g_e - эффективная длительность фазы

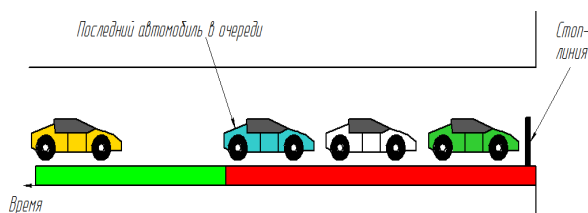


Рисунок 6 – Определение последнего автомобиля в очереди, характеризующего момент окончания интенсивности потока насыщения

В германском руководстве по проектированию средств организации уличного движения под потоком насыщения понимается максимально возможное число транспортных средств, способных проехать за период горения разрешающего сигнала [7].

Величина потока насыщения g_{Si} для каждого обследованного интервала определяется как:

$$g_{Si} = \frac{3600 \cdot n_i}{t_{Fi}}, \quad (1)$$

где g_{Si} – поток насыщения i -ой колонны, авт/ч; n_i – число транспортных средств, въехавших на перекресток в течение зеленого и желтого сигналов, авт; t_{Fi} – действительное время зеленого сигнала, с.

Необходимо провести более чем 20 обследований, для обеспечения статистической значимости величины потока насыщения.

Величина потока насыщения для исследуемой полосы движения будет определена как среднее значение всех измеренных величин:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^k q_{Si}}{k}, \quad (2)$$

где q – поток насыщения колонны автомобилей i , авт/ч; k – количество проведенных обследований.

При этом доля грузовых транспортных средств определяется следующим образом:

$$SV = \frac{\sum_{i=1}^k n_{SVi}}{\sum_{i=1}^k n_i} \cdot 100, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^k n_{SVi}$ – сумма подсчитанных грузовых автомобилей;

$\sum_{i=1}^k n_i$ – сумма всех автомобилей.

В канадском руководстве по проектированию регулируемых пересечений поток насыщения определяется как интенсивность движения, при которой транспортные средства, ожидавшие в очереди разрешающего сигнала, разъезжаются в течение зеленого сигнала. Процесс разъезда транспортных средств из длинной очереди, скопившейся перед стоп-линией на подходе к перекрестку представлен на рисунке 7 [8].

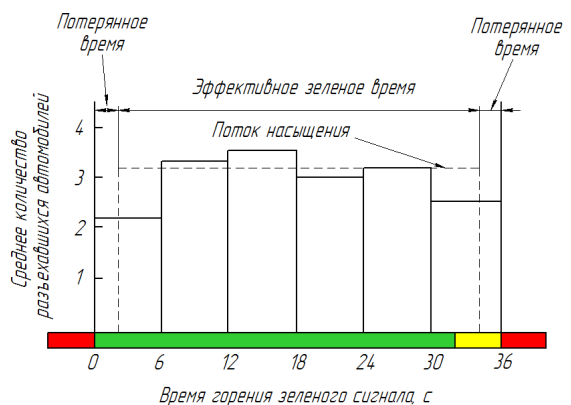


Рисунок 7 – Концепция потока насыщения, используемая в канадском руководстве по проектированию регулируемых пересечений

Из вышеперечисленных определений потока насыщения становится очевидным изначальное различие методик расчета величины потока насыщения, основанное на искомых величинах, вытекающих из данных определений.

При этом независимо от выбранного определения понятия потока насыщения на его величину влияют следующие факторы, характерные для данной местности, для данного перекрестка:

- ширина полосы движения;
- наличие левых и правых поворотов, совершаемых из данной полосы движения, вызывающее блокирование движения;
- доля грузовых транспортных средств в потоке;
- наличие уклона на подходе к перекрестку;
- наличие стоянок вблизи перекрестка, среднее число маневров, связанных с парковкой, а также средняя продолжительность блокирования движения, вызванного парковкой других транспортных средств;
- тип района, в котором расположен перекресток (например, центральный район города);
- блокирование движения, вызванное работой общественного транспорта.

Наиболее точно величину потока насыщения можно измерить непосредственно на местности. Для определения величины потока насыщения разные современные руководства предлагают различные друг от друга процедуры измерения его в полевых условиях.

В результате апробации данных методик на практике на типовом регулируемом пересечении г. Барнаула была определена величина потока насыщения по различным методикам, в соответствии с которой были рассчитаны длительности циклов регулирования (Таблица 1).

После проведения имитации движения транспортных средств при различном времени горения светофорных сигналов, было определено абсолютное и относительное отклонение времени задержки автомобилей на пересечении, по отношению к задержкам при существующей транспортной ситуации на исследуемом пересечении (Таблица 2).

Для выявления более оптимальной методики определения потока насыщения было использовано имитационное моделирование условий движения потока автомобилей и последующей оценки возникающих транспорт-

ных задержек при помощи программного комплекса ptv vision VISSIM (Рисунок 8).

Таблица 1 – Величина потока насыщения

Методика определения потока насыщения	Величина потока насыщения, авт./ч (прив.ед/ч)	Структура циклов регулирования, T_c , с
Методика по Ф.Вебстеру	4298	49
Методика, используемая в HCM 1985	4250	49
Методика, используемая в HCM 2000	4033	52
Методика, используемая в Канаде	3555	65
Методика, используемая в Австралии	3600	63
Германская методика	3167	85

Таблица 2 – Задержки легковых автомобилей на пересечении

Методики определения потока насыщения	Время задержки, с	Абсолютное отклонение, с	Относительное отклонение, %
Существующая ситуация	34	-	-
Методика по Ф. Вебстеру	33,85	0,15	-0,44
Методика, используемая в HCM 1985	33,85	-0,15	-0,44
Методика, используемая в HCM 2000	18,95	-15,05	-44,26
Методика, используемая в Канаде	26	-8	-23,53
Методика, используемая в Австралии	18,85	-15,15	-44,56
Германская методика	16,1	-17,9	-52,65

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальной методикой для определения потока насыщения является методика используемая в германском руководстве по проектированию устройств дорожного регулирования (HBS 2001) [7], так как при расчете времени

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА НАСЫЩЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ Г. БАРНАУЛА

горения сигналов по данной методике наблюдается снижение задержек легковых автомобилей на 22%, а автобусов на 24%.

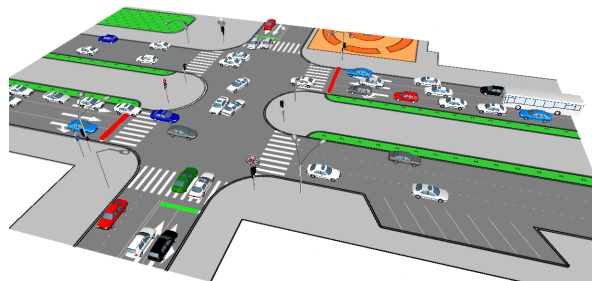


Рисунок 8 - Модель транспортного движения на типовом регулируемом пересечении г. Барнаула

Однако данная методика не учитывает автомобили, поворачивающие налево и направо, и величина потока насыщения измеряется в физических единицах, а не приведенных.

Для учета влияния левых и правых поворотов разные авторы предлагают использовать свои коэффициенты приведения потока насыщения к прямому потоку для полос совмещенного движения (Таблица 3).

Таблица 3 - Коэффициент коррекции потока насыщения на полосах совмещенного движения

Автор, год	Коэффициент влияния левого поворота	Коэффициент влияния правого поворота
Академия строительства ГДР, 1961	$K_{лев} = 1 + \frac{10 - Л}{10}$, Л - левоповоротное движение, %	$K_{прав} = 1 + 0,5 \cdot \frac{10 - П}{10}$, П - правоповоротное движение, %
Американское руководство, 2000	$f_{LT} = \frac{1}{1,0 + 0,05 \cdot P_{LT}}$, P_{LT} - доля ТС, поворачивающих налево	$f_{RT} = 1,0 - 0,15 \cdot P_{RT}$, P_{RT} - доля ТС, поворачивающих направо
Вебстер В.Ф., 1966	$C = M_H \cdot \frac{100}{a + 1,25 \cdot b + 1,75 \cdot c}$, M_H - поток насыщения для движения прямо, ед/ч; а, b, с - соответственно для прямого, правого и левого поворота	
Фишельсон М.С., 1968	Коэффициент η учитывающий левоповоротное движение	
	Доля левых поворотов, %	Двух полосная ПЧ
	10	1,65
	20	1,6
30	1,55	
40	1,5	
Врубель Ю.А. 1996	$M_H = M_{Нле} \cdot \alpha + M_{Нпра} \cdot (\alpha - 1)$	

По выражениям, приведенным в таблице 3, были построены графики изменения потока насыщения от доли левоповоротных и правоповоротных ТС (Рисунок 9).

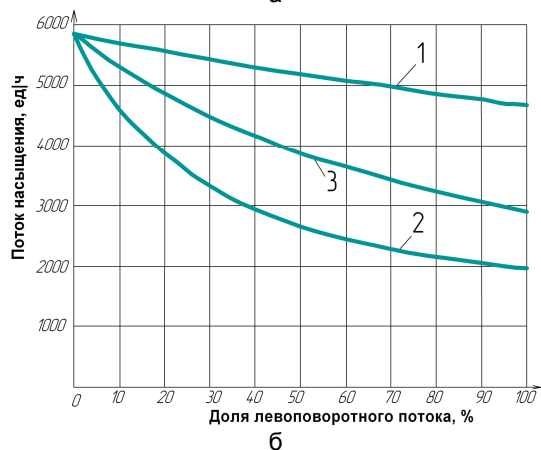
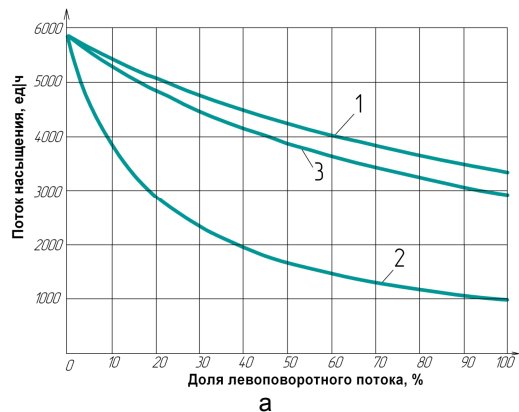


Рисунок 9 - Графики изменения потока насыщения от доли левоповоротных (а) и правоповоротных (б) 1 - значение потока насыщения по формулам Вебстера В.Ф.; 2 - значение потока насыщения по формулам Фишельсона М.С.; 3 - значение потока насыщения согласно формулам, приведенным в американском руководстве ТС

Как видно из графиков, чем выше доля поворачивающих автомобилей, тем меньше поток насыщения, а при увеличении доли правоповоротных и левоповоротных до 60-70%, поток насыщения уменьшается в 1,5-2 раза. Следовательно возрастают задержки при движении.

Для выявления оптимального коэффициента коррекции потока насыщения в соответствии с данными таблицы 4 в программном комплексе VISSIM моделировались ситуации при различных циклах светофорного регулирования, рассчитанных с учетом скорректированных значений потока насыщения.

Таблица 4 - Коррекция потока насыщения

Коэффициент влияния левого и правого поворота, K	Скорректированный поток насыщения, авт./ч	
	зимний период	летний период
1,0	3167	3394
0,98	3104	3326
0,96	3040	3258
0,94	2977	3190
0,92	2914	3122
0,90	2850	3055
0,88	2787	2987

Примечание. Корректируемый поток насыщения на рассматриваемом пересечении для зимнего периода равен 3167 авт./ч; для летнего периода равен 3394 авт./ч.

В результате моделирования были определены задержки транспортного движения, изменения времени которых в зависимости от коэффициента коррекции потока насыщения для зимнего и летнего периода представлены на рисунке 10.

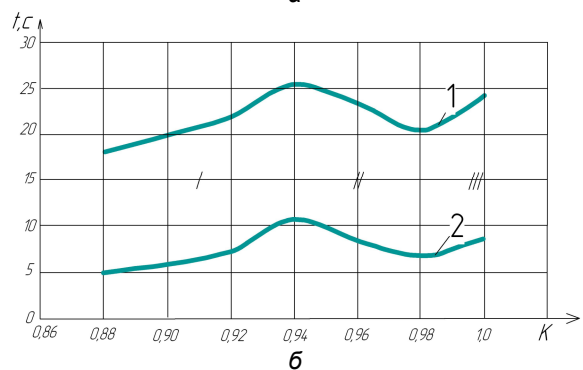
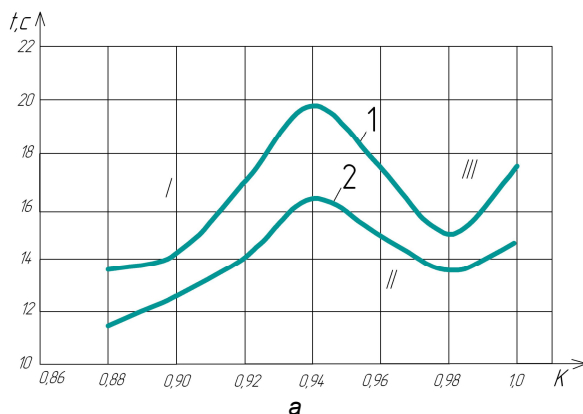
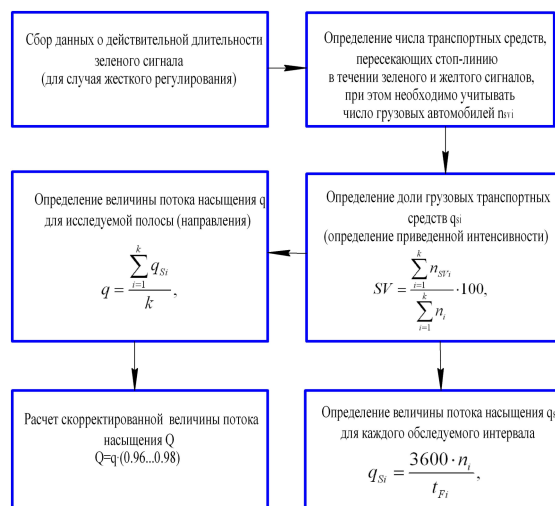


Рисунок 10 - График изменения времени задержки легкового и пассажирского транспорта в зависимости от коэффициента коррекции потока насыщения для зимних (а) и летних (б) условий движения
1 - легковой транспорт;
2 - пассажирский транспорт

Анализируя часть I графика (Рисунок 10) можно утверждать, что оптимальное значение коэффициента коррекции находится в этом интервале, но при значении коэффициента менее 0,94 происходит резкое увеличение длительности разрешающего сигнала в первой фазе а, следовательно, и цикла регулирования, что приводит к увеличению времени задержки во второй фазе. В части III графика наблюдается небольшое увеличение времени задержки, это связано с уменьшением длительности разрешающего сигнала в первой фазе, следовательно, скопившаяся очередь автомобилей перед перекрестком не успеет полностью разъехаться. Во части II графика наблюдается снижение времени задержки, следовательно можно утверждать, что оптимальное значение коэффициента и для летних и для зимних условий колеблется в пределах от 0,96 до 0,98.



Выводы

В соответствии с проведенными исследованиями предлагается применение следующего алгоритма для определения величины потока насыщения с учетом коэффициента коррекции в рамках организации регулируемого дорожного движения в г. Барнауле.

Согласно предложенному алгоритму, для определения величины потока насыщения требуется определить количество транспортных средств, которые при полном насыщении успели беспрепятственно разъехаться из очереди в течение зеленого и желтого сигналов (Рисунок 6).

В связи с высокими задержками, низкой скоростью транспортного потока в отдельные периоды времени и частыми образованиями заторов в г. Барнауле, необходимо производить комплекс работ, направленных на улуч-

шение данных показателей, с помощью правильной организации дорожного движения, с точки зрения расстановки технических средств и систем, а так же внедрением современных технологий, позволяющих улучшать качество перевозки людей и грузов в кратчайшие сроки и наименьшими затратами. Корректировка потока насыщения по предложенному алгоритму позволит оптимизировать светофорный цикл, при применении его на типовом регулируемом пересечении, что приведет к снижению транспортных задержек (по результатам имитационного моделирования) легкового транспорта на 42%, а пассажирского транспорта на 44%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кременец Ю. А., Печерский М.П.* Инженерные расчеты в регулировании движением. – М.: Высшая школа, 1977. – 110 с.
2. *Кременец Ю. А., Печерский М.П.* Применение технических средств для регулирования дорожным движением. – М.: Высшая школа, 1974. – 173 с.
3. *Branston D.* Some factors affecting the capacity of signalized intersection. –Traffic Eng. and Contr., 1979, v20, N8-9, p. 390 – 396.
4. *Branston D., Van Zuijen H.J.* The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple liner regression. *Transp. Res.*, 1987, v 12, p. 47 – 53.
5. *Webster F.V., Cobbe B.M.* Traffic Signals Road Research Technical Paper N56, HMSQ, London, 1966 – 111 p.
6. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000.
7. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). - Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.
8. *Teplý S.* Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. - Committee Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Second Edition, 1995

Ульрих С.А., к.т.н., доцент

Ведяшкин В.И., аспирант

Каширский Д.Ю., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова»,
кафедра «Организация и безопасность движения»,

е-mail: kafedra-obd@mail.ru;

тел. (83852) 290813