

# НА «ЗЕЛЕННОЙ ВОЛНЕ»

Одним из наиболее эффективных способов улучшения организации движения и реализации максимально возможной пропускной способности дорожно-уличной сети города является оптимизация планов координации для перекрестков, оборудованных светофорами с учетом их взаимного влияния. В нашей стране в повседневной практике рассчитывается от 1 до 3, максимум до 5 таких планов в сутки. Так как по принятой в российских городах практике неделя разбивается всего на 3 типа дней – будни, пятница и выходной, – то и режим работы светофоров изменяется соответственно от 3 до 15 раз в недельном цикле. За рубежом фазовые таблицы на загруженных перекрестках сменяются гораздо чаще, и современный контроллер серии 170, даже работающий в изолированном режиме, может хранить в памяти 64 таблицы.

Российские специалисты по организации движения, естественно, вполне осознают необходимость проектирования режимов работы светофоров в соответствии с реальной транспортной ситуацией. Причины сложившегося положения обусловлены недостатком информации по объекту управления, трудоемкостью проведения расчетов параметров планов координации и ограниченными возможностями применяющихся контроллеров.

Анализ и испытания различных программных продуктов для моделирования и расчета светофорных объектов подтверждают тот факт, что результаты оптимизационных вычислений весьма чувствительны к колебаниям исходных данных. Экспериментально установлено, что изменение интенсивности движения только по одному из направлений всего на 15–30% приводит к рекомендации об изменении фазовой таблицы. Это неопровержимо доказывает, что в настоящее время подавляющее большинство светофоров в России работает неоптимально, и для эффективного функционирования перекрестков необходимо добиться смены фазовых таблиц в соответствии с реальными (и ожидаемыми) изменениями параметров транспортных потоков.

Столь же очевидно, что правильность принятия решений при управлении дорожным движением и результаты оптимизационных расчетов напрямую зависят от качества информации, получаемой в результате мониторинга транспортных потоков. Учитывая, что городская дорожно-уличная сеть в России не обеспечена необходимым количеством детекторов транспорта (ДТ), для получения адекватных данных по интенсивности движения расчет планов координации (ПК) перекрестков производится на основании субъективно полученной информации. Иначе говоря, сегодня исходные дан-

ные для расчета не отражают реальной картины движения транспорта. Достаточно сказать, что даже в Москве на 4500 км дорог с более чем 2000 сложных перекрестков имеется всего около 500 детекторов транспорта. В остальных городах России, за исключением, Санкт-Петербурга, вообще отсутствуют общегородские системы непрерывного мониторинга транспортных потоков. Кроме того, даже при наличии сети детекторов транспорта, получаемая информация зачастую не представляет никакой практической ценности: вследствие большого объема и существенной динамики результатов первичных измерений ее своевременное осмысление без специальных инструментов крайне затруднительно.

Очевидно, что для обеспечения эффективной работы светофоров в нашей стране необходимо предложить инженерам инструменты для удобного решения, по меньшей мере, трех задач:

- сбора информации о транспортных потоках;
- обработки полученной информации в целях расчетов ПК;
- оптимизационного расчета ПК.

Предлагаемым инструментом является сочетание:

- стандартных, стационарных или портативных ДТ;
- аналитической программы статистической обработки данных транспортного мониторинга StaTran;
- расчетно-оптимизационной программы TRANSYT-7FR.

С помощью ПК StaTran производится сбор данных с ДТ в режиме реального времени или, при отсутствии связи, архивированной в самих ДТ. Далее обеспечивается визуализация полученных данных, их анализ, статистическая обработка, а также фор-

мирование архива с целью дальнейшей оценки. Последнее позволяет подтвердить (или опровергнуть) достоверность получаемой информации, то есть определить качество работы детекторов. Применение специальных математических методов обработки данных позволяет улучшить качество информации как за счет отбраковки «сомнительных» данных, так и за счет репликации результатов. Кроме того, в ПК StaTran дополнительно производится устранение искажений по крайним полосам, что неизбежно при использовании некоторых типов детекторов в городских условиях.

Для получения полной картины интенсивности движения на перекрестке в ПК StaTran создается виртуальный перекресток или сеть перекрестков, формируемых затем в артерию. Создание перекрестка осуществляется путем привязки к нему детекторов транспорта, обслуживающих выбранный объект управления.

Целью расчета в ПК StaTran является получение сводной таблицы интенсивностей на сегментах перекрестка, которая включает в себя информацию о средней, минимальной и максимальной интенсивности по каждому временному интервалу для каждого дня недели, а также среднюю скорость потока в интервале.

Количество временных интервалов, в течение которых будет действовать та или иная фазовая таблица, автоматически определяется из следующих показателей:

- точность расчета среднего значения интенсивности;
- начальное значение интенсивности. Любые изменения ниже этого значения не влияют на разбиение дня;
- шаг интенсивности. Изменение интенсивности на установленное значение приводит к рекомендации о смене фазовой таблицы;

Табл. 1. Фрагмент сводной таблицы интенсивностей движения в полученных временных интервалах (для одного дня недели)

День недели	Интервал		Скорость	Детекторы транспорта, интенсивности				
				Перекресток 1				Перекресток 2
	начало	конец		D[438]	D[439]	D[436]	D[501]	
Понедельник	0:00	2:15	36	271	688	308	200	411
	2:15	3:14	34	490	688	308	200	411
	3:14	4:25	31	899	688	308	200	411
	4:25	6:05	31	562	688	308	200	411
	6:05	6:28	32	562	688	308	374	411
	6:28	7:00	34	562	688	841	713	411
	7:00	7:15	38	693	688	1363	713	411
	7:15	8:40	39	782	688	1363	713	1365
	8:40	9:10	37	579	688	1610	554	1823
	9:10	11:05	38	579	688	1610	396	1823
	11:05	14:05	34	560	1095	1433	396	2003
	14:05	17:50	33	309	1095	1114	396	2273
	17:50	19:50	37	506	1481	1419	541	2273
	19:50	22:50	39	506	1987	936	473	2120
	22:50	0:00	34	647	1542	763	435	1347

■ минимальная длительность временного интервала, величина которой обусловлена постоянной времени транспортного потока. Испытания в условиях Москвы позволяют рекомендовать не изменять ПК чаще, чем 1 раз в 15–20 мин.

Перечисленные параметры вводятся в программу как исходные при расчете таблиц интенсивностей (рис. 1). В результате расчета формируется сводная таблица показаний детекторов транспорта на каждый день недели (табл. 1).

Полученные данные являются исходной информацией для дальнейшего оптимизационного расчета в программе TRANSYT-7FR. Эта программа в 2006 г. была специально модернизирована с учетом условий РФ, и теперь позволяет моделировать сложные многоузловые перекрестки. Первичная оптимизация транспортной модели производится так называемым «макроскопическим» методом с использованием генетического алгоритма и специального представления сходящихся транспортных потоков по типу «рассыпного распределения» (Platoon Dispersion). Исходная информация в TRANSYT-7FR предполагает наличие данных по интенсивности во всех направлениях движения. Проблема заключается в том, что данные детектирования обычно дают представление только об общей интенсивности движения на перекрестках без разделения по направлениям движения. Это в свою очередь предопределило введение в нашу терминологию понятия коэффициента интенсивности ( $k$ ).

Расчет коэффициентов интенсивности на направлениях движения

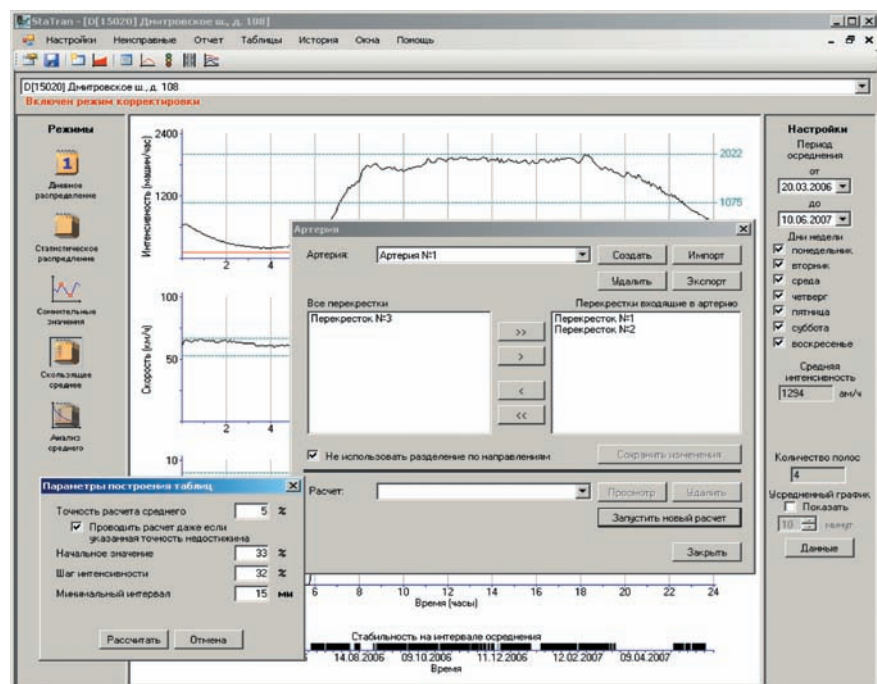


Рис. 1. Пример формирования артерии и ввода параметров для расчета таблиц интенсивностей

перекрестка производится на основании данных инспекции:

$$k_i = \frac{I_i^{insp}}{I_{app}^{insp}}$$

где  $i$  – направление движения перекрестка;  $k$  – коэффициент интенсивности на направлении движения перекрестка;  $I_i^{insp}$  – интенсивность движения ТС на направлении движения перекрестка, полученная в результате инспекции, ТС/час;  $I_{app}^{insp}$  – суммарная интенсивность движения ТС на подъезде к перекрестку, полученная в результате инспекции, ТС/ч.

Таким образом, интенсивность на направлении движения перекрестка будет рассчитываться путем умножения суммарной интенсивности на подъезде к перекрестку, полученной в ПК StaTran на основании детекторных измерений, на рассчитанный коэффициент:

$$I_i = I_{sum}^{DT} \cdot k_i$$

где  $I_i$  – интенсивность движения на  $i$ -м направлении перекрестка, ТС/час;  $I_{sum}^{DT}$  – суммарная интенсивность на подъезде к перекрестку, ТС/ч.

После формирования исходных данных для проведения оптимизацион-

информационные технологии

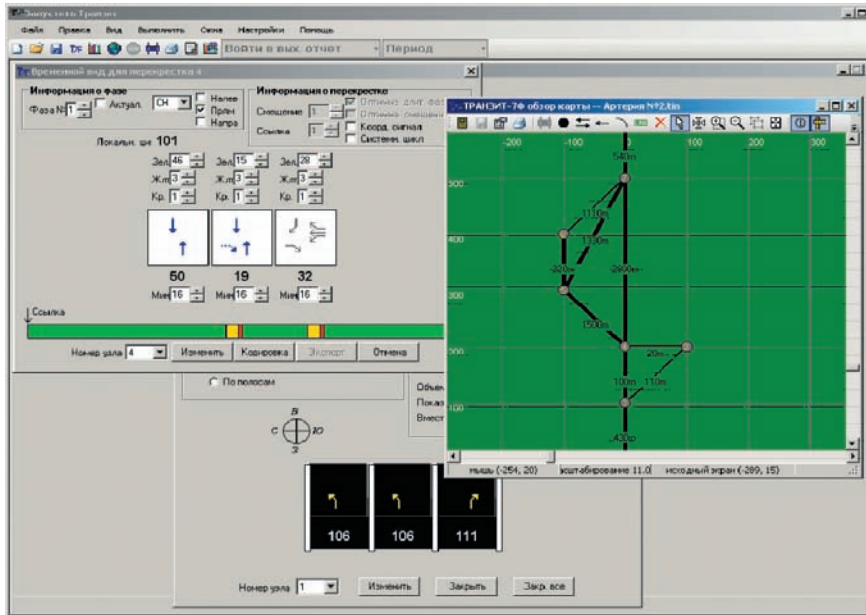


Рис. 2. Оптимизация временных параметров работы артерии. Экран программы TRANSYT-7FR

приоритетного направления. С целью определения возможности снижения временных затрат на оптимизационный расчет было проведено следующее исследование: в каких случаях необходимо проводить расчеты артерии, а в каких достаточно рассмотреть перекресток независимо от сети? Произведена оценка влияния разницы между интенсивностями на «основных» и конфликтных направлениях перекрестка, а также насыщенности перекрестка на эффективность оптимизации по задержке для различных методов моделирования в TRANSYT-7FR.

Для проведения анализа были выбраны 5 перекрестков одной из Московских магистралей. Каждый перекресток был смоделирован в TRANSYT-7FR как отдельный объект («перекресток») и как элемент сети.

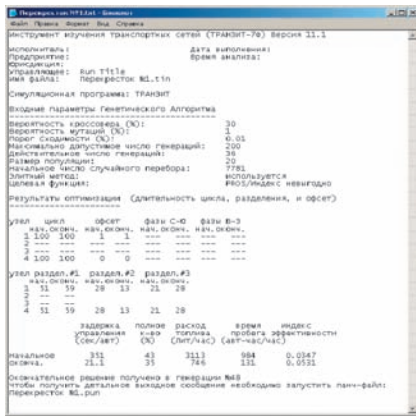


Рис. 3. Пример выходного файла Genetic.txt файла TRANSYT-7FR

ного расчета создается ряд моделей TRANSYT-7FR (по числу полученных временных интервалов), причем каждая модель характеризуется своим набором интенсивностей (рис. 2). Далее производится оптимизация временных параметров работы рассматриваемого объекта управления (перекресток, артерия).

Результатом оптимизационного расчета в TRANSYT-7FR являются выходные файлы оптимизации Genetic.txt и \*.rul (рис. 3), на основании которых формируется план работы светофорного объекта (рис. 4). При этом для каждого временного интервала создается свой выходной файл.

Для наглядной демонстрации эффективности оптимизации проведен сравнительный анализ результатов расчета в программе TRANSYT-7FR. Для сравнения были выбраны показатели суммарной задержки, суммарной очереди и расхода топлива на перекрестке до и после проведения оптимизационного расчета.

Район координации №2															
Лист ...	Номер объекта		0				День недели		Понедельник						
Название объекта	Перекресток №1														
Номер программы	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4			
Время работы программы, ч	0:00 - 6:10		6:10 - 6:41	6:41 - 7:10	7:10 - 8:01	8:01 - 20:05	20:05 - 22:30	22:30 - 22:55	22:55 - 24:00						
Tc, секунд	67		77	77	97	92	97	97	77						
Номер программы															
Номер фазы	Tзм	Tж	1	Tос	2	Tос	3	Tос	4	Tос	5	6	7	Tос	8
1	3	3	1	43	1	36	1	30	1	21	1	37	1	52	1
2	3	3	50	3	43	9	37	3	28	15	44	17	59	6	59
3	3	3	59	3	58	14	46	26	49	43	67	20	71	21	71
4															
5															
6															
7															
8															

Рис. 4. План работы перекрестка

В качестве объекта исследования выбраны два перекрестка магистрали Москвы, а также исправно работающие детекторы транспорта, находящиеся в непосредственной близости от рассматриваемых объектов регулирования. В результате расчетов для перекрестка № 1 получено 7 временных интервалов с соответствующими значениями интенсивностей для каждого интервала, для перекрестка № 2 – 19 временных интервалов. Результаты анализа представлены на рисунке 5 (а, б, в).

Графики подтверждают эффективность оптимизационного расчета. Например, для перекрестка № 1 накопленная задержка ТС за сутки сократилась более чем на 16 час., а для перекрестка № 2 – на 298 час. Экономия топлива на перекрестке № 2 составила 1298 л за сутки. Суммарная длина «хвоста» очереди на перекрестках также значительно сокращается, и особенно это прослеживается в часы «пик» (рис. 5в).

Одним из недостатков использования TRANSYT-7FR является длительный процесс оптимизационного расчета в случае рассмотрения сети перекрестков (артерии) с заданием

Для оценки эффективности оптимизации TRANSYT-7FR был выбран следующий критерий:

$$d = \frac{(D_b - D_a)}{D_b}$$

где  $D_b$  и  $D_a$  – соответственно, задержка до и после оптимизации, с.

Для оценки равнозначности интенсивностей на конфликтных направлениях был выбран показатель равнозначности перекрестков, который определялся следующим образом:

$$F = \frac{I'_{max1}}{I'_{max2}}$$

где  $I'_{max1}$  и  $I'_{max2}$  – соответственно, наибольшее абсолютное значение интенсивности на «основном» и конфликтном ему направлении.

Абсолютное значение интенсивности рассчитывалось по формуле:

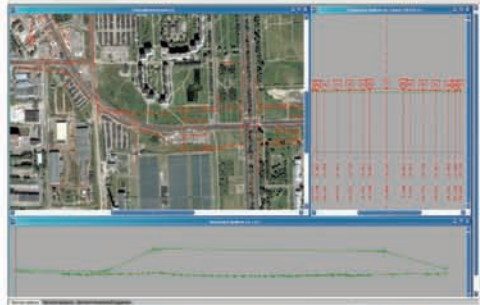
$$I'_n = \frac{I_n}{S_n}$$

# A+C КОНСАЛТ

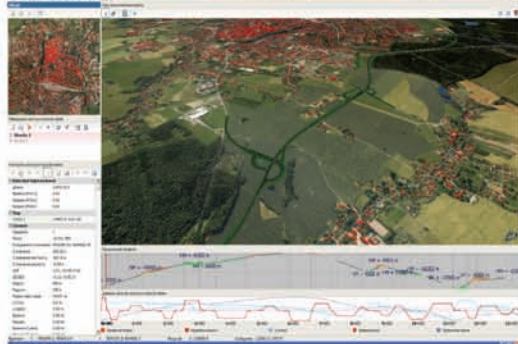
- Немецкая компания "А+С Консалт" более 10 лет занимается разработкой инженерных проектов автомобильных и железных дорог, а также проектами площадных объектов.
  - С 2004 года на территории СНГ компания "А+С Консалт" выполнила проекты нескольких аэропортов, систем водоотвода на площадных объектах, промышленных площадок.
  - С использованием уникальных информационных технологий мы добиваемся кратчайших сроков выполнения проектной документации в соответствии с нормативной документацией и в максимально наглядном виде.
- **CARD/1** – комплексный инструмент рабочего проектирования транспортных сооружений, в том числе городских дорог, загородных магистралей, пересечений, примыканий и транспортных развязок в нескольких уровнях, железнодорожных путей и монорельса;
  - **CARD/1** позволяет обрабатывать геодезические данные и проектировать площадные объекты.
  - **CARD/1** применяется более чем в 1000 организаций по всему миру.
- **KorridorFinder** – это уникальный инструмент обоснования проектных решений с одновременной 3D-визуализацией проекта Заказчику.
  - Уникальность **KorridorFinder** заключается в сочетании стадии обоснования проектных решений с полноценной трехмерной моделью проекта.
  - Простота в освоении, гибкость настройки, а также красота и убедительность визуализации проектного решения делает его популярным среди проектировщиков в СНГ.
- **PTV Vision® VISUM** – Ваш незаменимый помощник в транспортном планировании и расчете прогнозов транспортного спроса. Ведущий в мире инструмент для транспортного планирования и моделирования.
  - **PTV Vision® VISSIM** – полезный инструмент в случаях, когда необходимо дать рекомендации по совершенствованию организации движения на перекрестке (развязке), так как позволяет в простом и наглядном виде представить работу любого транспортного узла.
  - **Sitraffic P2** – основной инструмент проектировщика светофорных объектов.
- На основе Ваших проектных данных "А+С Консалт" может выполнить работы по комплексной визуализации проекта для целей презентации, поиска инвестора, согласования проектных решений с широким кругом лиц.
  - Наша компания развивает это направление с 1998 года. Нами выполнено более 100 проектов визуализации автодорог, железных дорог, аэродромов и промышленных территорий. Одним из самых крупных объектов "А+С Консалт" на территории Российской Федерации является визуализация Западного Скоростного диаметра в Санкт-Петербурге (46 км в городской застройке).



Проектирование



CARD/1



KorFin  
KORRIDORFINDER



ptv vision



Визуализация

## Группа компаний "А+С Консалт"

199034, Санкт-Петербург  
В. О. Большой проспект, 10  
Телефон: +7 (812) 325-51-04  
Факс: +7 (812) 325-62-97

spb@apluss.de  
www.apluss.ru  
www.card-1.ru  
www.korfin.ru  
www.ptv-vision.ru

## информационные технологии

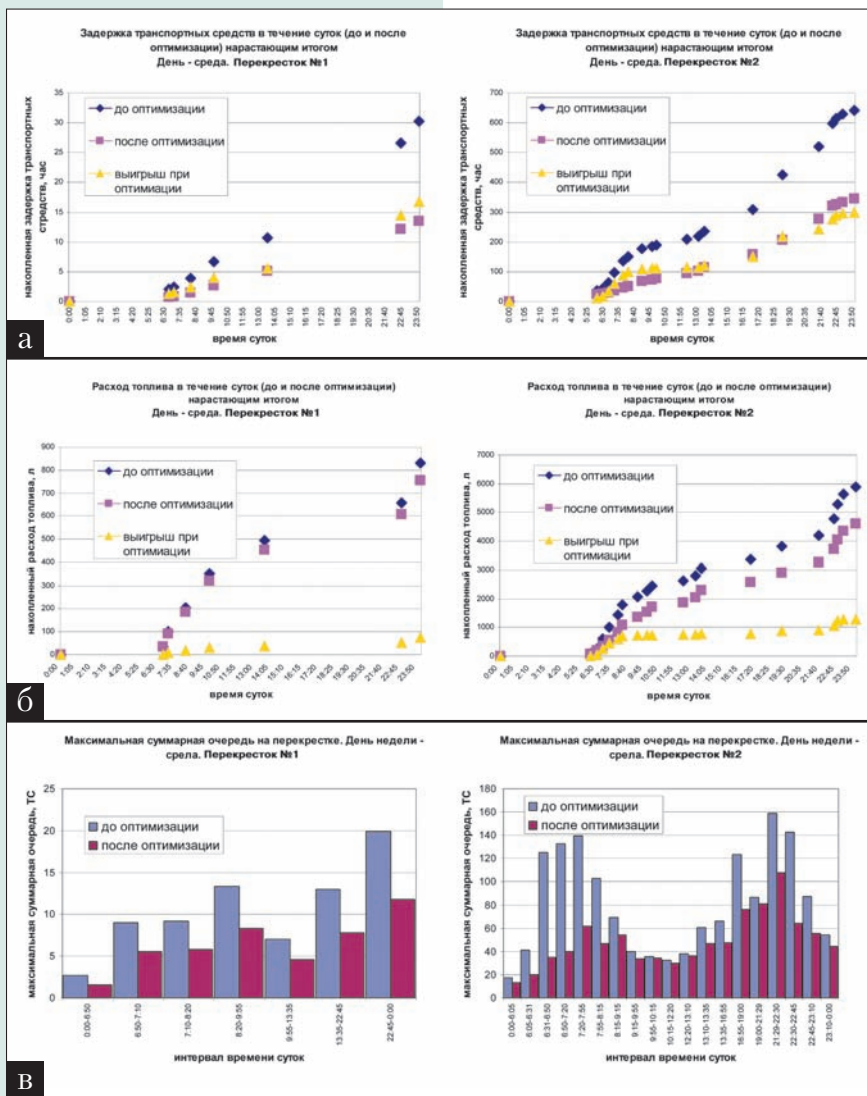


Рис. 5. Результаты расчета показателей задержки, очереди и расхода топлива на типовых перекрестках (№ 1 – F < 0,2; № 2 – F > 0,7)

где  $n$  – индекс направления;  $I$  – интенсивность, ТС/ч.;  $S$  – поток насыщения, ТС/ч.

Показатель насыщенности определялся как:

$$h = I'_{max1} + I'_{max2}$$

В качестве исходных данных были взяты данные с детекторов транспорта. Для объекта «перекресток» учитывались данные только тех ДТ, которые привязаны к конкретному перекрестку. Для объекта «артерия» – интенсивности с ДТ всех перекрестков сети. Параметры для расчета временных интервалов задавались в ПК StaTran, исходя из следующего:

- точность расчета среднего – 5%;
- начальное значение интенсивности – 33% от максимального значения за день;
- шаг интенсивности – 32% от предыдущего значения интенсивности;
- минимальный интервал 20 мин.

В результате расчетов в StaTran получилось 22 временных интервала для «артерии», по 7 для четырех

перекрестков и 19 интервалов для пятого перекрестка. Для каждого перекрестка был рассчитан свой набор данных по интенсивности.

Формирование временных интервалов для артерии производилось следующим образом:

- если временной интервал рассматриваемого перекрестка содержал в себе несколько временных интервалов «артерии», эти интервалы объединялись;
- при несовпадении границ интервалов, границей назначалось ближайшее время.

В полученных временных интервалах для «артерии» задержка усреднялась с учетом продолжительности самого интервала. Для каждого временного интервала был сделан отдельный \*.tin файл и выписаны значения задержки для каждого направления. Далее был произведен оптимизационный расчет в TRANSYT-7FR.

В качестве целевых функций были выбраны:

- для «перекрестка» – минимизация параметров, неблагоприятно влияющих на показатели работы объекта регулирования (задержка, очередь и т. п.);
- для «артерии» – максимизация времени действия «зеленой волны» при выполнении условия, указанного выше;

Оптимизация производилась:

- в режиме «перекресток» оптимизация производилась по длительностям цикла и фазы, а в режиме «артерия» еще и по смещению.
- для «артерии» – по длительности цикла, длительности фазы и смещениям;

После оптимизации полученные TRANSYT-файлы анализировались с целью сопоставления величин суммарных задержек и задержек по направлениям при различных методах моделирования.

В результате проведенного исследования были сформулированы следующие выводы:

- Оптимизация режимов работы перекрестков на основании реальных данных о транспортных потоках с использованием программ StaTran и TRANSYT-7FR позволяет добиться существенного улучшения условий движения, в т.ч. сокращения задержки до 50% и расхода топлива до 20%.
- При значениях показателя насыщенности менее 0,6 эффективна оптимизация и в режиме «артерия», и в режиме «перекресток», как по каждому направлению, так и по перекрестку в целом. В зоне показателя насыщенности 0,4–0,6 эффективность оптимизации падает, причем для режима «артерия» градиент выше.
- При значениях показателя насыщенности более 0,6 эффективна лишь оптимизация по перекрестку в целом, производить расчеты в режиме «артерия» нецелесообразно.
- При значениях показателя насыщенности более 0,9 оптимизация эффективна только при условии приоритизации направлений.
- При значениях показателя равнозначности более 0,5 оптимизация по направлениям может быть эффективна только при условии приоритизации направлений.
- На эффективность оптимизации по перекрестку в целом показатель равнозначности существенно не влияет.

Г. С. Бродский, д. т. н.,  
А. С. Сухоченков, к. э. н.,  
Е. С. Бродская (AGA Group, Inc.);  
D. Hale, PhD (McTrans UF)