

## **Технико-экономическое обоснование внедрения систем адаптивного управления дорожным движением на магистралях г. Нижний Новгород**

к.э.н. Сухоченков А.С., д.т.н. Бродский Г.С.  
(AGA Group, Inc., Россия, Москва)

Дельфинов В.Г.

(Департамент транспорта и связи г. Нижний Новгород,  
Россия, г. Нижний Новгород)

The benefit/cost analysis of adaptive control system in Nizhniy Novgorod.

**Anton Sukhochenkov**, Ph.D., Executive director, AGA Group, Inc., Moscow, Russia,

**Dr. Gregory Brodski**, President, AGA Group, Inc.

**Viktor Delfinov**, deputy director of Department of transportation, Nizhniy Novgorod, Russia

Технический смысл систем адаптивного управления дорожным движением (АдСУ ДД) состоит в наиболее полном учете транспортных потребностей на всех направлениях пересечения. Удлиняя время горения зеленого сигнала светофора на направлениях движения, где транспортная потребность максимальна, можно добиться снижения комплексной задержки транспортных средств (ТС) в условиях насыщенного движения, уменьшения количества остановок транспорта в незагруженные часы, общего увеличения пропускной способности перекрестка и скорости движения по улично-дорожной сети (УДС).

Результатом внедрения АдСУ ДД должно являться качественное изменение основных параметров работы светофорных объектов (СО), которое в свою очередь приводит к изменению затрат, несомых потребителями (участниками дорожного движения) при эксплуатации транспортной инфраструктуры. Конкретно изменяются (согласно ГОСТ 24.501-82):

- объем топлива, расходуемого на СО;
- транспортная задержка (время, которое тратится участником дорожного движения (УДД) на перекрестке);
- эксплуатационные расходы (затраты, которыми сопровождается пользование УДД светофорным объектом).

Основные параметры работы СО могут быть выражены денежно:

- затраты на топливо, руб./год;
- стоимость человеко- и машино-часа, руб./год;
- затраты на эксплуатацию транспортного средства (ТС), руб./год.

Экономический эффект от внедрения АдСУ ДД может быть представлен в виде изменения затрат на создание АдСУ ДД по отношению к затратам возникающим без реализации проекта с учетом фактора времени.

Экономический эффект в данном случае возникает на уровне УДД и региональном уровне и представлен в виде экономии времени УДД, средств

на топливо и содержание автомобиля, а так же сокращения выбросов газов в атмосферный воздух города.

При разработке технико-экономического обоснования внедрения АдСУ ДД на магистралях г. Нижний Новгород рассмотрено три варианта пилотных проектов:

- 9 перекрестков, находящихся на одной магистрали;
- 13 перекрестков, находящихся на одной магистрали;
- 9 перекрестков, не находящихся на одной магистрали и расположенных в различных частях города.

Для каждого СО составлена модель TRANSYT-7FR. В связи с недостаточностью данных, связанной с отсутствием развитой системы мониторинга транспортных потоков в г. Нижний Новгород, исходными данными для составления моделей являлись:

- исполнительная документация, предоставленная Департаментом транспорта и связи г. Нижнего Новгорода;
- результаты экспертной оценки интенсивностей транспортных потоков;
- данные транспортного мониторинга аппаратными средствами на ул. Мурашкинская и ул. Должанская (рис. 1).

С использованием средств компьютерного моделирования TRANSYT-7FR были определены «базовые» (до внедрения системы) значения следующих показателей эффективности для каждого СО:

- затраты у потребителя при эксплуатации СО, руб./год.;
- потери машинного времени на СО, маш-час./час;
- объемы используемого топлива на СО, лит./час.

Проведен оптимизационный расчет средствами TRANSYT-7FR. Оптимизируемыми параметрами в данном случае являлись:

- продолжительность цикла, сек.;
- продолжительность каждой фазы сек.;
- последовательность фаз;
- смещение, сек. (если было возможно).

Целевая функция оптимизации была представлена в виде минимизации общих неблагоприятных условий для движения транспорта (таких как повышенный расход топлива, прирост очереди, эксплуатационные расходы, суммарная задержка транспортных средств (ТС) на СО).

В результате оптимизационного расчета разработаны рекомендации по организации дорожного движения с использованием адаптивных систем управления и изменению планов работы СО.

С использованием средств компьютерного моделирования TRANSYT-7FR определены «новые» (после внедрения системы) значения показателей эффективности для каждого СО.

Произведено два расчета обоснования экономической эффективности.

**Первый расчет** строился на модели TRANSYT-7FR. В данном случае эффект от внедрения АдСУ ДД может быть определен как разница между

затратами, которые несут пользователи УДС в результате эксплуатации СО, до и после внедрения системы.

Эксплуатационные затраты в данном случае были определены по формуле:

$$ТОС = \sum_{i=1}^M ТОС_i ,$$

$$\text{где } ТОС_i = \left\{ \frac{K_{i1} \cdot TT_i + K_{i2} \cdot S_i + C_d \cdot d_i}{1000} + C_f \cdot f_i + O \cdot C_i \cdot \left( \frac{TT_i}{V_i} + d_i \right) \right\} \cdot I ,$$

где  $ТОС$  и  $ТОС_i$  – общие эксплуатационные затраты на СО и на  $i$ -том направлении движения соответственно, руб.;  $TT_i$  – общее время в пути на  $i$ -том направлении движения, км на ТС;  $S_i$  – общее количество остановок на  $i$ -том направлении движения, ТС/час;  $d_i$  – общая задержка на  $i$ -том направлении движения, ТС/час;  $f_i$  – общий объем расходуемого топлива на  $i$ -том направлении движения, литр;  $O$  – среднее количество пассажиров (человек) в ТС, чел/ТС;  $V_i$  – скорость на  $i$ -том направлении движения, км/час;  $I$  – уровень инфляции;  $C_x$  – удельные стоимости, соответственно, ( $d$ ) задержки, за исключением стоимости времени пассажиров, ( $f$ ) расхода топлива, ( $t$ ) времени пассажиров, руб.;  $K_{ij}$  – коэффициент, который представлен в виде функции скорости на каждом  $i$ -том направлении движения. Значения коэффициентов приняты на основании опыта транспортной инженерии США.

Определена разница между эксплуатационными расходами до и после внедрения АдСУ ДД. Определены капитальные затраты на создание АдСУ ДД, включающие затраты на оборудование, программное обеспечение, монтаж и обучение. Определены затраты, связанные с эксплуатацией оборудования, которые составили 3% от капитальных затрат. В эксплуатационные затраты также были включены расходы на заработную плату обслуживающего персонала.

Оценка эффективности рассматриваемых вариантов АдСУ ДД производилась путем сопоставления показателей эффективности, которые были определены, как отношение эффектов к затратам, возникающим в результате реализации проекта с учетом фактора времени.

Наиболее предпочтительным в данном случае является вариант внедрения АдСУ ДД на разрозненных пересечениях. Эффекты превышают затраты на реализацию АдСУ ДД в 4.19 раза. При этом потери времени снижаются на 1 554 000 маш-час в год, а расход топлива на 5 283 600 литров в год, что позволяет в свою очередь значительно сократить нагрузку на воздушный бассейн города.

Годовой социально-экономический эффект от реализации АдСУ ДД на магистралях, входящих в состав наиболее предпочтительного варианта составил 53 890 200 руб./год.

Анализ результатов оценки эффективности АдСУ ДД показал, что использование метода TRANSYT-7FR в Российских условиях должен производиться с учетом разницы исходных данных, в том числе:

- удельных стоимостей задержки;
- удельной стоимости топлива;
- удельной стоимости затрат времени пользователями ТС.

В этой связи расчеты экономических эффектов, проведенные в программе TRANSYT-7FR, могут давать существенные погрешности по абсолютной величине.

Поэтому методику TRANSYT-7FR в Российских условиях целесообразно применять исключительно для сравнительного анализа вариантов АдСУ ДД.

**Второй расчет** строился на данных модели TRANSYT-7FR с использованием алгоритмов AGA, учитывающих характерные для РФ социально-экономические условия. В данном случае эффект от внедрения АдСУ ДД также может быть определен как разница между затратами, которые несут пользователи УДС в результате эксплуатации СО, до и после внедрения системы.

Годовые затраты, которые несут пользователи УДС в данном случае представлены следующим образом:

$$Z_{all} = 24 \cdot N \cdot (T \cdot (n \cdot C_p + C_a) + V \cdot C_f),$$

где  $Z_{all}$  – годовые затраты, которые несут пользователи УДС, руб./год;  $N$  – количество дней в году, дней ( $N = 350$ );  $T$  – транспортные задержки, маш-час./час;  $n$  – количество человек в транспортном средстве, чел. ( $n = 2$ );  $C_p$  – стоимость человеко-часа, руб.;  $C_a$  – стоимость машино-часа, руб.;  $V$  – объем используемого топлива на СО, литр/час.;  $C_f$  – стоимость топлива, руб./литр.

$$C_p = \frac{Z_p}{T_m} \cdot (\alpha_1^p \cdot k_w + \alpha_2^p \cdot k_r + \alpha_3^p \cdot k_{an}),$$

где  $Z_p$  – среднестатистическая заработная плата, руб./мес. ( $Z_p = 7000$ );  $T_m$  – месячная выработка времени рабочего, час./мес. ( $T_m = 160$ );  $\alpha_1^p$ ,  $\alpha_2^p$ ,  $\alpha_3^p$  – коэффициенты стоимости времени, соответственно, пассажиров, пользующихся ТС для служебных поездок, поездок с целью отдыха и рекреационных целях, и поездок в свободное время (определяются на основании регионального социально-экономического анализа) (в данном расчете приняты:  $\alpha_1^p = 1$ ,  $\alpha_2^p = 0.5$ ,  $\alpha_3^p = 0.2$ );  $k_w$ ,  $k_r$ ,  $k_{an}$  – коэффициенты, учитывающие долю пользователей ТС, соответственно, для служебных

поездок, поездок с целью отдыха и рекреационных целях, и поездок в свободное время (определяются на основании регионального социально-экономического анализа) (в данном расчете приняты:  $k_w = 0.4$ ,  $k_r = 0.1$ ,  $k_{an} = 0.5$ ).

$$C_a = \left[ \frac{\frac{Z_{auto}}{n_e} + Z_{auto} \cdot k_e}{N_e \cdot t_e} \right] \cdot (\alpha_1^a \cdot k_c + \alpha_2^a \cdot k_h + \alpha_3^a \cdot k_{bh} + \alpha_4^a \cdot k_b),$$

где  $Z_{auto}$  – среднестатистическая стоимость ТС, руб. ( $Z_{auto} = 470000$ );  $n_e$  – срок службы ТС, год. ( $n_e = 7$ );  $N_e$  – продолжительность эксплуатации в год, дней/год ( $N_e = 200$ );  $t_e$  – продолжительность эксплуатации в день, час./день. ( $t_e = 8$ );  $k_e$  – коэффициент определяющий эксплуатационные затраты в зависимости от стоимости ТС;  $\alpha_1^a$ ,  $\alpha_2^a$ ,  $\alpha_3^a$ ,  $\alpha_4^a$  – коэффициенты стоимости используемого времени, соответственно, легковым, малым грузовым, большим грузовым и общественным транспортом (определяются на основании регионального социально-экономического анализа) (в данном расчете приняты:  $\alpha_1^a = 0.7$ ,  $\alpha_2^a = 1$ ,  $\alpha_3^a = 1.2$ ,  $\alpha_4^a = 2$ );  $k_c$ ,  $k_h$ ,  $k_{bh}$ ,  $k_b$  – коэффициенты, учитывающие долю, соответственно, легкового, малого грузового, большого грузового и общественного транспорта (определяются на основании транспортного обследования) (в данном расчете приняты:  $k_c = 0.6$ ,  $k_h = 0.2$ ,  $k_{bh} = 0.12$ ,  $k_b = 0.08$ ).

Наиболее предпочтительный вариант в данном случае вариант внедрения АдСУ ДД на разрозненных пересечениях, эффекты превышают затраты на реализацию АдСУ ДД в 19.84 раза.

Годовой социально-экономический эффект от реализации АдСУ ДД на магистралях, входящих в состав наиболее предпочтительного варианта составил:

- от снижения используемого топлива на СО – 105 672 000 руб./год;
- от снижения потерь машинного времени на СО – 43 746 110 руб./год;
- от снижения потерь времени пользователей ТС на СО – 95 862 375 руб./год.

При внедрении пилотного проекта АдСУ ДД потери времени УДД на СО снизятся на 1 554 000 маш-час в год, а расход топлива на 5 283 600 литров в год, что позволит в свою очередь значительно сократить нагрузку на воздушный бассейн города.

## Выводы

1. Моделирование показало, что наиболее предпочтительным, как с точки зрения транспортного, так и с точки зрения экономического эффекта является проект реконструкции по варианту внедрения АдСУ ДД на разрозненных пересечениях. Этот вывод можно сделать на основании транспортно-экономических моделей, построенных на основе как российских, так и американских исследований.
2. Условия загрузки УДС в г. Нижнем Новгороде требуют, для обеспечения эффективности выполняемых проектов, проводить предварительный транспортный мониторинг длительностью от 3 до 5 недель на реконструируемых пересечениях. Результаты мониторинга можно использовать не только для проектирования мероприятий по организации движения, но и с целью уточнения коэффициентов, используемых при экономических расчетах.
3. Для привязки экономических расчетов к условиям г. Нижнего Новгорода необходимо определить локальные величины экономических констант, таких, как стоимость эксплуатации ТС, стоимость потерь времени пользователей ТС, стоимость топлива.

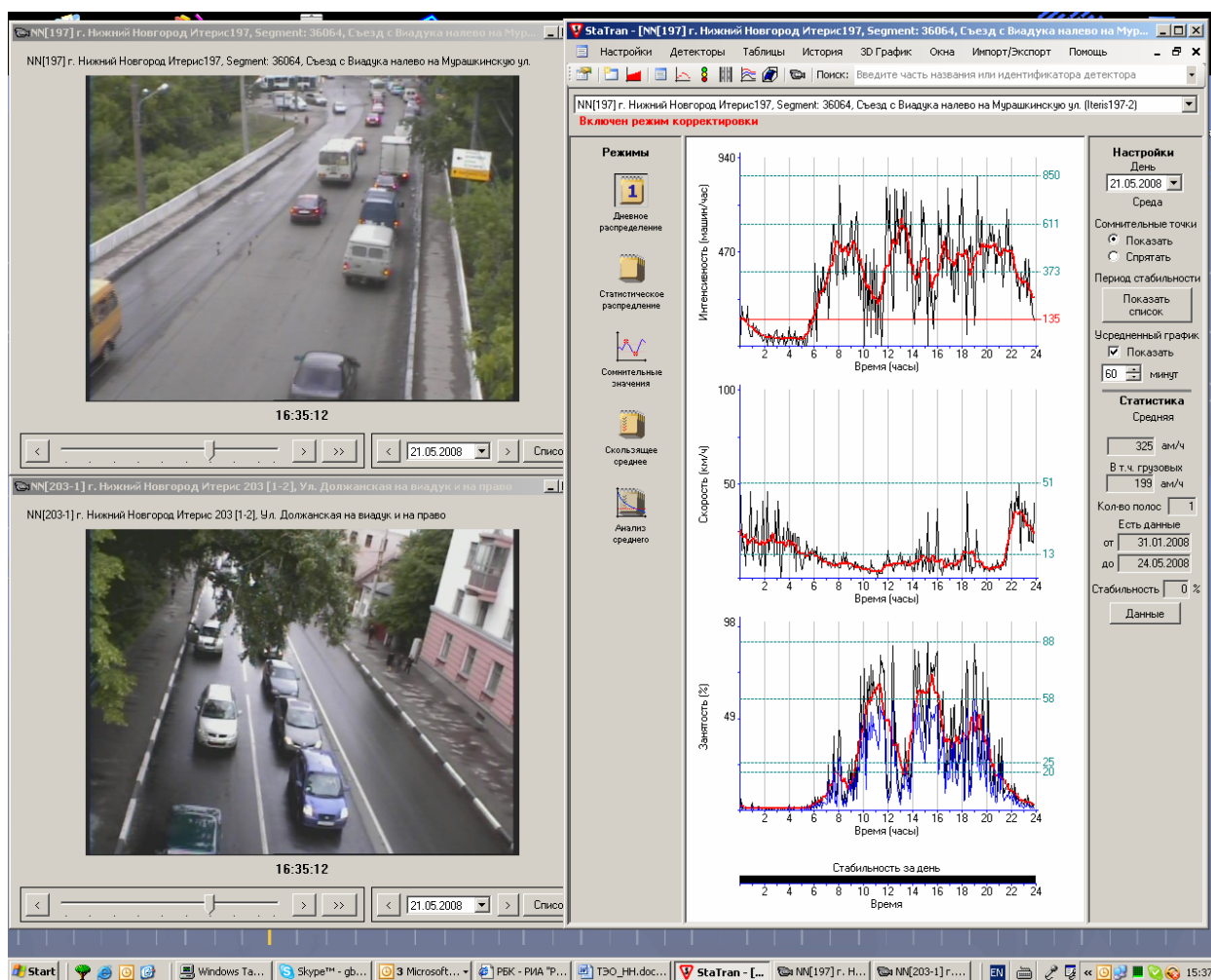


Рис. 1. Транспортный мониторинг на пересечении улиц Мурашкинская и Должанская в г. нижнем Новгороде с использованием видеодетекторов Iteris Edge2 и программы StaTran 4.0.