

Цитирование и перепечатка данной статьи целиком или по частям только с разрешения автора.  
Москва 2018 (С) В. А. Алексеев ООО «Инфопроецсс» [www.infoproцесс.ru](http://www.infoproцесс.ru)

## «Адаптивка» работает? «Адаптивка» работает!

Или как максимально просто объяснить сложную проблему.



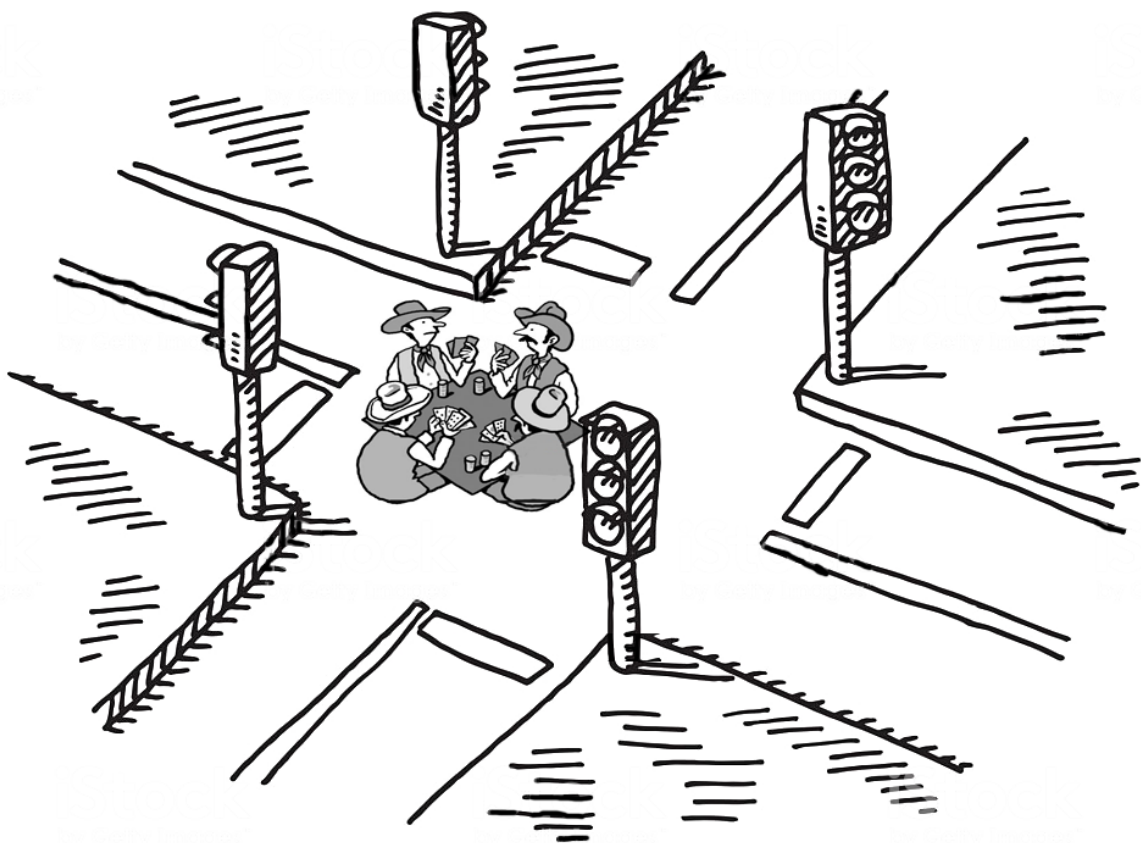
В последнее время на российском рынке ИТС складывается устойчивое мнение о неработоспособности адаптивных режимов регулирования перекрестка. Что привело к такой ситуации? Давайте разбираться.

Регулировать перекрестки при помощи светофоров начали около ста лет назад. Уже через десяток лет после вступления в жизнь трехцветных сигналов математики разработали теоретические основы оптимального регулирования транспорта. Возникший в начале двадцатого века и стремительно распространившийся автотранспорт быстро продемонстрировал и все сопутствующие эффекты в виде заторов и конфликтов разъезда на нерегулируемых пересечениях. Поэтому, возникновение соответствующей теории быстро стало насущной необходимостью. Что же получается? Теория известна уже в течение чуть менее века, а практика на большинстве светофорных объектов остановилась на уровне календарной автоматики, когда циклы регулирования подстраивают по часам и датам, учитывая только грубую статистику. Апеллируя к зарубежному опыту, стоит заметить, что и там «плохих» проектов пока больше, чем успешных применений теории. Но они есть, и многие давно и хорошо работают. Посмотрим на подавляющее большинство отечественных проектов. Знающие люди скажут, что у нас давно и массово пытались внедрить «адаптивку» на базе информации от детекторов транспорта, в основном импортного производства, хотя и отечественные детекторы транспорта тоже имеются на рынке. Камнем преткновения стало отсутствие качественного объединения компонентов системы. Вот как это чаще всего выглядит: На перекрестке установлены интеллектуальные контроллеры, управляемые микропроцессорами, светофорные «головы» и детекторы транспорта. Многие такие светофорные объекты имеют коммуникационное оборудование для подключения к некоторому местному

«Центру управления». Что имеем в результате: контроллер продолжает работать в фиксированном режиме по календарной автоматике, детекторы собирают данные о трафике и отправляют их в «Центр управления», где они, в лучшем случае, складываются в базу данных. И все. Никакой «адаптивки» фактически нет. Остается надеяться, что, хотя бы иногда, «инженер по трафику» изучает эти данные и соответственно корректирует календарную автоматiku. Здесь многие региональные специалисты улыбнутся. Нет у нас такой штатной единицы. А ведь детекторы транспорта были куплены и установлены в надежде на значительное улучшение транспортной ситуации. Многие поставщики решений декларируют поддержку адаптивных алгоритмов. Как правило, это несложные поделки наподобие алгоритма «поиска разрыва в потоке». Последний на практике обладает низкой точностью и не способен работать совместно с такой нужной штукой, как обратный отсчет светофора. Второй распространенной технологией является **координированное регулирование**, сводящееся к алгоритму «зеленая волна». Последняя рассчитывается жестко, без учета текущего трафика. Даже, если поставщик утверждает обратное, в основном это происходит именно так. Понятно, что работают эти системы неточно и ненадежно, что и послужило для эксплуатирующих организаций основанием считать их малоэффективными. Выходит, для реабилитации технологии нужно решить сложную задачу: убедить потребителя, что эффективное решение есть. Для этого попробуем рассмотреть технологию адаптивного регулирования подробнее.

Из теории известно, что основным и решающим показателем качества работы регулирования является «транспортная задержка». Как известно, лучший перекресток — это отсутствие перекрестка, а значит и отсутствие дополнительной транспортной задержки. Чем меньшую задержку испытывает трафик, проходя через перекресток, тем лучше работает регулирование. Причем, совокупную транспортную задержку можно рассчитать и для сети перекрестков целого населенного пункта или его связанного района. Формально говоря, мы имеем ограниченную систему со многими потребителями транспортного ресурса (автомобилями) и вектором сигналов всех светофоров. Предполагается, что существует некий «оптимальный» вектор сигналов, минимизирующий совокупную транспортную задержку. Наша задача - вычислить этот вектор сигналов, чтобы уменьшить до минимально возможного значения транспортную задержку. Разбирающийся человек заметит, что в столь сложной системе не обязательно

существует один оптимум. И это действительно так. По большому счету, таких оптимумов два, не считая мелких локальных. Наша система напоминает разновидность «игры», описываемой математической теорией игр. В такой игре существует два больших оптимума: Первый оптимум это, так называемое, «равновесие Нэша», когда невозможно уменьшить общую транспортную задержку уменьшив ее для любого отдельного игрока (потребителя ресурса). При таком равновесии, транспортная задержка распределяется между всеми игроками некоторым «справедливым», но необязательно равным, образом. Иными словами, система заставляет всех участников движения испытать некоторую задержку, но минимальной, для данных обстоятельств, величины. Фактически, описанная ситуация аналогична задаче местного гибкого регулирования.



Для отдельно взятого перекрестка зависимость **длительности цикла** от **величины интенсивности движения и его условий** по всем направлениям давно известна в теории регулирования. Решение этого уравнения дает оптимальную длительность цикла и распределение сигналов внутри цикла.

Если это удаленный, отдельно стоящий перекресток, то он не испытывает динамической зависимости от режима работы соседних перекрестков. Казалось бы – вот готовое решение для отдельного перекрестка. Почему у нас его не используют на практике? Ответ на этот вопрос будет дан далее, а пока вернемся к оптимальному регулированию.

Второй большой оптимум образуется в ситуации, когда большинство автомобилей вообще не испытывают задержки, проезжая перекресток в «зеленой» фазе, а небольшому количеству, вынужденных ожидать, приходится нести на себе всю общую транспортную задержку. В среднем, она окажется мала, так как мало количество «пострадавших». В математической теории игр такая ситуация называется «социальный оптимум». Ценой существенного проигрыша небольшого количества игроков, основная масса игроков получает большие преимущества. В итоге общий критерий оптимальности получается хороший. Более того, обычно он превышает «равновесие Нэша».



Для трафика это похоже на «зеленую волну». Это когда большинство автомобилей проезжает перекресток вообще без задержки, тогда как меньшинство автомобилей ожидает на конкурирующих направлениях. Если это так, давайте везде внедрять «зеленую волну», скажет часть читателей. Другая, более осведомленная часть, справедливо заметит, что «зеленая волна» возможна не везде и не при любых обстоятельствах. Главный критерий для успешной работы «зеленой волны» - наличие возможности пропускать большую часть трафика в течение «зеленой» фазы, а для этого необходим целый ряд условий. Наиболее важное условие – наличие динамической связи между соседними перекрестками в направлении «зеленой волны». Движение автомобилей должно происходить плотными пачками, чередующимися с интервалами. В противном случае, «зеленая волна» не имеет смысла, «равновесие Нэша» сработает лучше.

Подытожим сказанное: Совершенно очевидно, что для оптимального регулирования нужно применять совокупность технологий регулирования. Говоря упрощенно, это местное гибкое регулирование (МГР) и

координированное регулирование группой перекрестков «зеленая волна». В любом случае, потребуется подсистема оценки параметров трафика и автоматического принятия решения о применении тех или иных алгоритмов. Тут мы и подходим к вопросу о практическом применении. Система оптимального регулирования – это сложная система с множеством датчиков для обратной связи. Но, кроме датчиков, петли регулирования образуются **алгоритмами автоматического использования данных** детекторов транспорта. Вот тут и кроется главная слабость поставщиков решений. Программного обеспечения «промежуточного слоя» между детекторами транспорта и исполнительными контроллерами светофоров попросту нет. Петля обратной связи разомкнута. Именно качество этого программного обеспечения и определяет оптимальность работы «адаптивки». Все вышесказанное всего лишь констатация фактов. Все элементы «идеальной» адаптивной системы существуют. Математика проверена многими годами, отдельные технологии и компоненты давно созданы, но собрать из мозаики технологий полный продукт не простая задача. Как показала практика, многие отечественные поставщики решений не осознают до конца даже постановку проблемы, не то что ее решение.

В рамках практического решения этой задачи, соответствующие алгоритмы поддержки были реализованы в детекторах автотранспорта компании «Инфопроесс», промежуточный слой МГР был реализован компанией «Элсистер» в серии интеллектуальных контроллеров, а адаптивные режимы координированного управления в ПО «Мегаполис». В настоящее время происходит опытная эксплуатация ряда светофорных объектов, уже показывающая отличные результаты. Никакая календарная автоматика не может сравниться с адаптивным регулированием. Существующая система непрерывно совершенствуется. Ее более ранние и более простые реализации многие годы успешно эксплуатируются во многих городах России, постепенно заменяясь современными решениями.