

4 СЕКЦИЯ

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

НАСТРОЙКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ

В.В. Михайлов¹, к.т.н., доцент, С.Б. Соболевский¹, к.т.н., доцент,
А.Г. Снитков², м.т.н.

¹Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»,
Минск, Беларусь

²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь

Ключевые слова: перекресток, транспортные потоки, алгоритм, моделирование, полный факторный эксперимент, интенсивность, управление

В работе предложен алгоритм получения длительности сигнала управления светофором для одноуровневого перекрестка со случайными транспортными потоками и различными характеристиками фиксированных зон затормаживания и остановки перед ним.

Введение

Согласно обзору последних инновационных продуктов, представляемых на рынок передовых технологий, например как в [1], транспортное проектирование интеллектуальных разработок проводят в следующих направлениях (в порядке сложности):

- транспортно-экономические изыскания; - транспортное планирование; - транспортное моделирование; - интеллектуальные транспортные системы.

Современные GPS - технологии позволяют с достаточной степенью точности определять количество находящихся на выделенном контрольном участке автомобилей, их средние скорости, замедления, ускорения и иную информацию. Более того, фирма ADMA-Speed представила специальный датчик тормозного усилия, сопряженного с внешним информационным управляющим контуром [2].

В этой связи наличие большого количества автомобилей, стремящихся проехать перекресток, динамические параметры движения которых случайны и разнообразны, задача безопасного и эффективного управления несколькими пересекаемыми транспортными потоками, сформированными этими автомобилями, является актуальной. Важным недостатком интеллектуальных систем управления по-прежнему является отсутствие упреждающего стратегического прогнозирования. В этом случае управляющий алгоритм такой системы способен не интеллектуальным, а материальным образом повысить эффективность транспортной системы через максимизацию скорости и количества автомобилей, проезжающих перекресток.

1. Динамическая модель для прогнозирования движения одиночного транспортного потока

Транспортный поток является нестабильным и многообразным, информация о нем ресурсоемка для настройки информационных потоков стандартных командных систем управления, а критерии качества управления противоречивы и дорожные условия непредсказуемы. Поэтому по аналогии с гидравлической моделью была разработана модель одиночного транспортного потока [3], [4], приведенная на рисунке 1, [2].

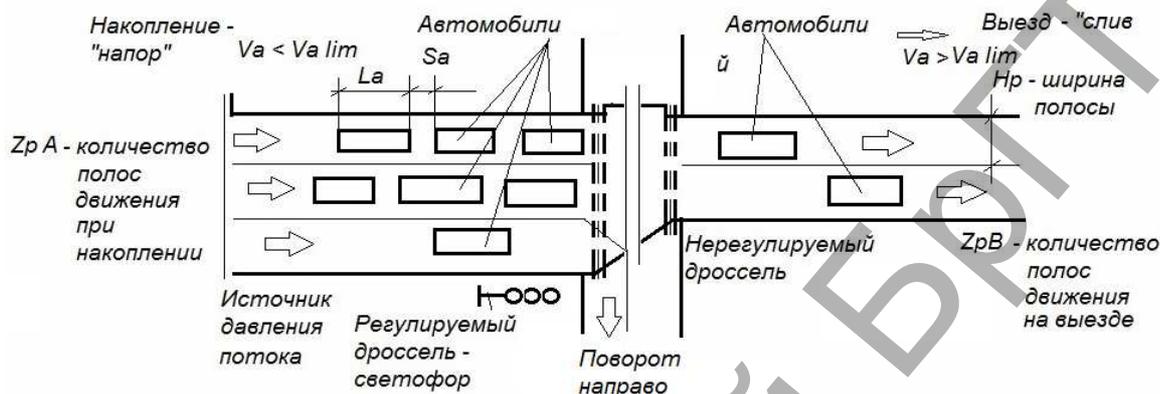


Рисунок 1 – Общая дорожная схема транспортного потока

Условные деформируемые объемы W_{NA} , W_{AB} и W_{BT} участков дороги NA , AB и BT представлены через длину L , ширину F дороги, количество полос Z и ширину одной полосы H_p , т.е.

$$W_{NA} = L_{NA} Z_{pA} H_p, [M^2 \Pi],$$

$$W_{AB} = 0,01 W_{NA}, [M^2 \Pi],$$

$$W_{BT} = 100 W_{NA}, [M^2 \Pi].$$

Пропускная способность каждого транспортного сечения определяется «площадью транспортного дросселя»:

$$F_{zA} = H_p Z_{pA} [M \Pi],$$

$$F_{zB} = H_p Z_{pB} [M \Pi].$$

Условное давление на кромку рассчитывается и принято:

$$p_B = p_T = 0 [\text{авто/м } \Pi],$$

$$p_N = p_A = N_{avto} / F_{zA}, [\text{авто/м } \Pi].$$

Величины расходов получают

$$Q_N = V_{aNA} F_{zNA} = V_{aNA} Z_{pA} H_p, [M^2 \Pi/c],$$

$$Q_T = V_{aBT} F_{zBT} = V_{aBT} Z_{pB} H_p, [M^2 \Pi/c],$$

$$Q_A = 0,0291 F_{zA} (p_N - p_A)^{0,5},$$

$$Q_B = 0,0291 F_{zB} (p_A - p_T)^{0,5}.$$

Т.н. модуль упругости E определяют:

$$E_{NA} = N_{avto\ max} / F_{zA} = [L_{NA} Z_{pA} / (L_a + S_a)] : F_{zA}, \text{ [авто/м]}.$$

$$E_{AB} = 10 E_{NA},$$

$$E_{BT} = 0,1 E_{NA}.$$

Динамические изменения давлений и потоки в узлах могут быть определены, как

$$\begin{aligned} (\Delta p / \Delta t)_A &= E_{NA} (Q_N - Q_A) / W_{NA}; \\ (\Delta p / \Delta t)_A &= E_{NA} (Q_N - Q_B) / W_{NA}, \text{ полагая, что } Q_A = Q_B; \\ (\Delta p / \Delta t)_B &= E_{AB} (Q_A - Q_B) / W_{AB}, \\ Q_N &= V_{aNA} Z_{pA} H_p; \\ Q_T = Q_B &= 0,0291 F_{zB} (p_A)^{0,5}. \end{aligned}$$

2. Объект исследования. Параметры модели

Схема моделируемого участка дороги представлена на рисунке 1. Объектом исследования выбран участок дороги с параметрами: $Z_{pA} = 3$; $Z_{pB} = 2$; $H_p = 3,5$ м; $L_{NA} = 200$ м; $W_{NA} = 2100 \dots 1050$ м²П; параметр $E_{NA} = 12,7$ авто/мП; $Q_{NA} = 150 \dots 30$ м²П/с; средняя длина автомобиля $L_a = 3,5$ м; минимальное расстояние между транспортными средствами $S_a = 1,0$ м; $L_{BT} = 1000$ м; $W_{BT} = 210000$ м²П; $E_{BT} = 127$ авто/мП; $Q_T = 150 \dots 100$ м²П/с.

3. Модель транспортного потока для построения модели управляемого перекрестка

Для выявления параметров транспортных потоков, движущихся через перекресток, использованы приемы математической статистики для:

- установления значимости и важности выбранных факторов;
- проведения поиска значений статистических оценок коэффициентов линейной регрессии;
- выявления оптимальных значений исследуемой функции Y_i и соответствующих ему значений факторов X_j .

Для примера в качестве выходных параметров (параметров оптимизации одного транспортного потока) были использованы следующие диапазоны выбранных факторов: - транспортный поток до светофора (фактор X_1); $Q_N = 150 \dots 30$ [м² П/с]; - транспортный поток после светофора (фактор X_2); $Q_A = 150 \dots 100$ [м² П/с]; - объем зоны накопления перед накопителем перед STOP – линией светофора (фактор X_3); $W = 2100 \dots 1050$ [м² П]; - время включения разрешающего сигнала светофора (фактор X_4); $T = 90 \dots 20$ сек.

План полного факторного эксперимента для одного транспортного потока представлен в таблице 1.

Для одиночного первого транспортного потока было получено следующее уравнение регрессии интенсивности типичного транспортного потока, включающее параметр, в том числе, и закона регулирования светофором:

$$Y = 15,18 + 7,31 X_1 + 1,32 X_2 - 2,31 X_3 - 2,81 X_4.$$

Таким образом, интенсивность давления транспортного потока в фиксированных зонах затормаживания и остановки перед СТОП–линией в наибольшей степени определяется интенсивностью транспортного потока. Другим по важности фактором является длительность сигнала регулирования светофором. Величина неучтенных факторов также достаточно значима, что связано с неопределенностью описания параметров дорожных участков.

4. Настройка алгоритма адаптивного управления светофором с пересечением четырех транспортных потоков

Модель управляемого перекрестка получена на основе регрессионных уравнений пересечения четырех транспортных потоков:

$$\begin{aligned}
 Y_1 - B_{o1} &= K_{11} X_{11} + K_{12} X_{12} + K_{13} X_{13} + K_{14} X_{14} \\
 Y_2 - B_{o2} &= K_{21} X_{21} + K_{22} X_{22} + K_{23} X_{23} + K_{24} X_{24} \\
 Y_3 - B_{o3} &= K_{31} X_{31} + K_{32} X_{32} + K_{33} X_{33} + K_{34} X_{34} \\
 Y_4 - B_{o4} &= K_{41} X_{41} + K_{42} X_{42} + K_{43} X_{43} + K_{44} X_{44}
 \end{aligned}$$

План полного факторного эксперимента согласно [5] позволил получить следующие значения интенсивности формирования первого потока размерности [авто/мП]: $Y = 10; 30; 11; 1; 19; 4; 20; 4; 19; 4; 24; 4; 38; 8; 39; 8$.

Поскольку значения факторов X_j являются случайными, то значения Y_i регрессионных уравнений также будут различаться.

Задача управления формулируется как поиск значения параметра X_4 регулирования длительности сигнала светофора.

В общем случае из-за инерционности транспортной системы перекрестка и управления расчет длительности сигнала X_4 необходимо проводить для некоторого периода времени Δt переключения светофора по накопленному количеству автомобилей в каждом из четырех потоков:

$$X_4 = \frac{
 \begin{vmatrix}
 K_{11} & K_{12} & K_{13} & Y_1 - B_{o1} \\
 K_{21} & K_{22} & K_{23} & Y_2 - B_{o2} \\
 K_{31} & K_{32} & K_{33} & Y_3 - B_{o3} \\
 K_{41} & K_{42} & K_{43} & Y_4 - B_{o4}
 \end{vmatrix}
 }{
 \begin{vmatrix}
 K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\
 K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\
 K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\
 K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44}
 \end{vmatrix}
 }$$

Поскольку невозможно в текущем шаге вычислить значения $Y_{1,2,3,4}$ и X_4 , значения $Y_{1,2,3,4}$ принимаются по предыдущему шагу.

С учетом принудительного командного режима настройки светофора, алгоритм настройки фаз может быть представлен алгоритмом, как представлено на рисунке 2.

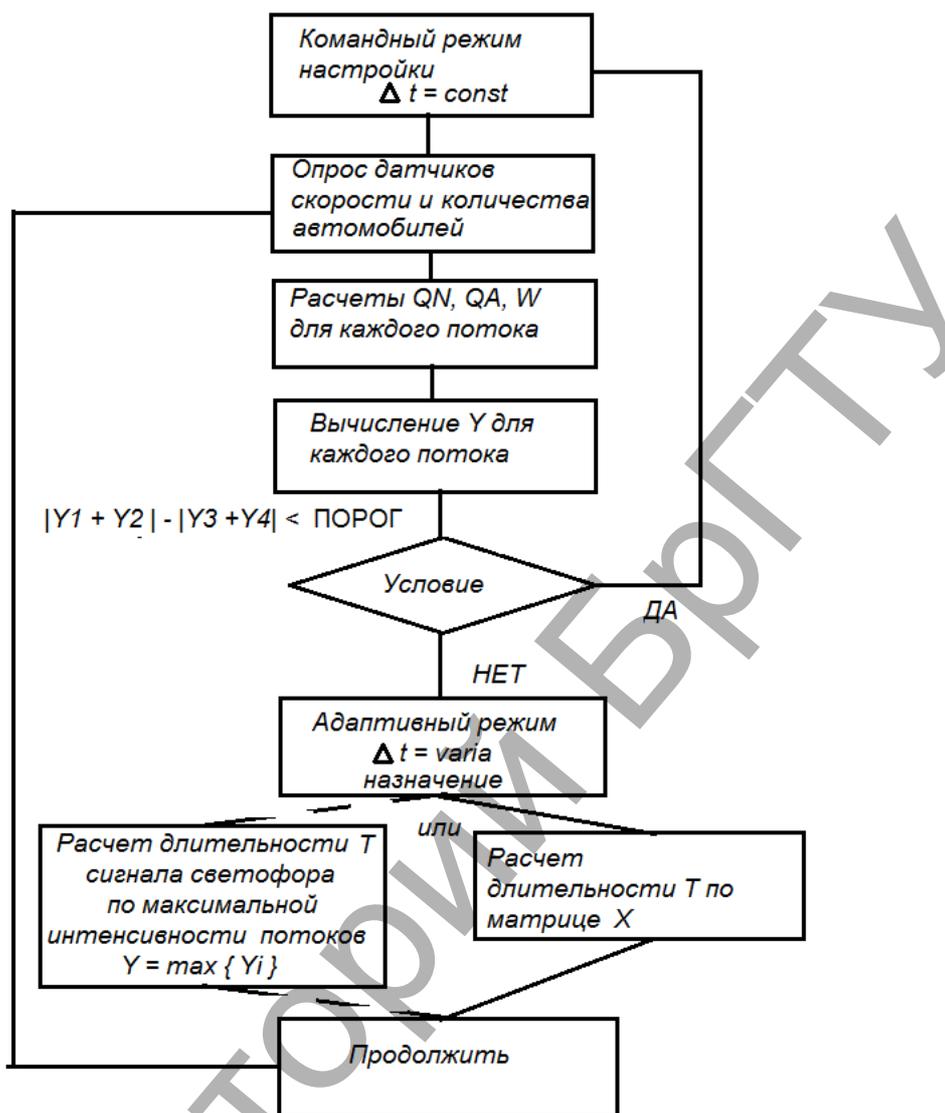


Рисунок 2 – Алгоритм адаптивного управления светофором х - образного перекрестка

В результате предложен относительно несложный алгоритм выбора длительности сигнала управления светофором, регулирующего движение на одноуровневом перекрестке, в соответствии с переменными случайными характеристиками пересекающихся транспортных потоков в фиксированных зонах затормаживания и остановки перед ним. Применение управляющей матрицы существенно ускоряет работу адаптивного алгоритма регулирования светофором.

Список литературы

1. Режим свободного доступа: <http://apluss.ru>
2. Режим свободного доступа: <http://www.genesys-offenburg.de/en/products/adma-speed/>
3. Михайлов, В. Гидродинамическая модель транспортного потока для регулируемого участка дороги // В.В. Михайлов, И.В. Жук, А.Г. Снитков.— Автотранспортное предприятие.—2015.—Ноябрь.— Москва, с.39-44.
4. Семенов, В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса // В.В. Семенов.— м.— Препринт. ИПМ им. Келдыша РАН. — 2004. — Режим свободного доступа: http://www.keldysh.ru/papers/2004/prep34/prep2004_34.html
5. Митков, А.Л., Кардашевский С.В. Статистические методы в сельскохозяйственном машиностроении // А.Л. Митков, С.В. Кардашевский.—М. —Машиностроение.— 1978.—360с.