

СЕКЦИЯ 3
ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
НАУЧНЫЙ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ АСПЕКТЫ

УДК 656.13.05

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ
ДВИЖЕНИЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДАХ**

*А. В. Алешко, студентка, факультет электронно-информационных систем,
кафедра интеллектуальных информационных технологий, Брестский
государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: aleshkoangelina82@gmail.com,*

*Е. М. Коцуба, студентка, факультет электронно-информационных систем,
кафедра интеллектуальных информационных технологий, Брестский
государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: Katakocuba07@gmail.com*

*А. А. Козинский, доцент кафедры интеллектуальных информационных
технологий, Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь, e-mail: kaa1964@bk.ru*

Реферат

В данной статье рассмотрена оптимизация управления дорожным движением в современных городах.

Рассмотрены перспективы оптимизации управления дорожным движением в современных городах, проблематика быстрого роста автомобильного парка, необходимость внедрения новых методов регулирования дорожного транспорта для снижения количества заторов и улучшения эффективности движения на загруженных участках дороги. Описаны преимущества и недостатки различных методов оптимизации управления дорожным движением, сравнение приведенных в статье методов. Анализированы методы расчета параметров координированного регулирования для оптимизации работы светофоров при рассмотрении как теоретических, так и практических аспектов исследования. Представлены расчеты методов оптимизации управления для определенного набора данных, исследованы результаты полученных расчетов и сделаны выводы по эффективности использования данных методов оптимизации.

Ключевые слова: оптимизация, дорожный транспорт, магистрали, лента времени, ширина ленты времени, светофорный цикл, зеленая волна.

OPTIMIZATION OF TRAFFIC MANAGEMENT IN MODERN CITIES

A. V. Aleshko, E. M. Kotsyba, A. A. Kazinski

Abstract

This article discusses the optimization of traffic management in modern cities.

The prospects of optimizing traffic management in modern cities, the problems of rapid growth of the automobile fleet, the need to introduce new methods of regulating

road transport to reduce congestion and improve traffic efficiency on busy road sections are considered. The advantages and disadvantages of various methods of optimizing traffic management are described, and the methods given in the article are compared. The methods of calculating the parameters of coordinated regulation for optimizing the operation of traffic lights are analyzed when considering both theoretical and practical aspects of the study. Calculations of control optimization methods for a certain data set are presented, the results of the calculations are investigated and conclusions are drawn on the effectiveness of using these methods of optimization.

Keywords: optimization, road transport, highways, time tape, time tape width, traffic light cycle, green wave.

Введение

Современные проблемы дорожного движения связаны с быстрым ростом автомобильного парка, который опережает развитие инфраструктуры, создавая социальные и экономические трудности. Интенсивное движение приводит к заторам, повышенному износу транспортных средств, загрязнению воздуха и ухудшению здоровья населения. Традиционные методы регулирования, такие как светофоры, не справляются с нагрузкой из-за устаревших алгоритмов.

Оптимизация координированного управления транспортными потоками [1–7] позволяет снизить заторы и повысить безопасность на дорогах. Современные системы интеллектуального регулирования, использующие адаптивное управление, могут увеличить скорость движения на 20 %. В Беларуси с 1980-х годов разрабатываются автоматизированные системы управления, доказавшие свою эффективность в крупных городах, однако они требуют дальнейшего развития.

Данное исследование анализирует методы расчета параметров координированного регулирования для оптимизации работы светофоров, рассматривая как теоретические, так и практические аспекты. Эти методы могут значительно улучшить качество дорожного движения в городах, способствуя созданию адаптивных систем управления [8–11], соответствующих условиям современного транспорта.

Постановка задачи оптимизации движения на перекрестках

Оптимизация дорожного движения на перекрестках является одной из ключевых задач современной транспортной системы, особенно в условиях растущей плотности транспортных потоков. Перекрестки, будучи узловыми точками городской дорожной сети, концентрируют основные проблемы движения: высокую интенсивность транспортных средств, частые остановки и разгоны, увеличенные затраты времени и топлива. Именно здесь возникают наибольшие очереди, которые существенно снижают общую пропускную способность дорог.

Неэффективное управление движением на перекрестках приводит к накоплению транспортных средств, увеличивая риск аварийных ситуаций. Согласно статистике, от 25 % до 45 % дорожно-транспортных происшествий происходит именно на перекрестках. Это делает их самым уязвимым элементом городской транспортной системы. В условиях недостаточной пропускной способности и устаревших алгоритмов работы светофоров становится очевидной необходимость внедрения новых, более эффективных методов управления движением. Задача заключается в разработке таких алгоритмов, которые позволят максимально эффективно использовать существующую инфраструктуру, снижая заторы и улучшая безопасность дорожного движения.

Теоретическая часть

Эффективное управление дорожным движением является критически важным для обеспечения плавного и безопасного передвижения транспорта, особенно в условиях ограниченного пространства и высокой интенсивности движения на магистральных улицах. Одним из наиболее эффективных способов улучшения пропускной способности дорог является оптимизация работы светофорных объектов. Координация их работы с целью минимизации задержек и заторов достигается за счет правильного подбора сдвигов – моментов включения фаз регулирования на каждом перекрестке, которые определяются относительно произвольно выбранного нулевого момента времени.

В мировой практике используется метод TRANSYT, который помогает в построении плана координации (ПК) для светофорных объектов на магистралях. Эта макроскопическая автономная компьютерная программа позволяет изучать и оптимизировать движение от изолированных дорожных развязок до крупных сетей. Однако качество полученного плана во многом зависит от начальных параметров регулирования и выбранного цикла. Лучший результат достигается при использовании сдвигов, соответствующих ленте времени максимальной ширины.

Лента времени представляет собой совокупность графиков движения автомобилей, построенных в системе координат «время – расстояние» или «время – время проезда». Она позволяет автомобилям двигаться по магистрали без остановок, если они следуют со средней скоростью транспортного потока. Для построения ленты времени используются данные о временах проезда между последовательными стоп-линиями, длительности цикла регулирования и продолжительности разрешающих сигналов.

Существует три метода формирования ленты времени максимальной ширины: графоаналитический метод, расчетный метод и модифицированный расчетный метод. Графоаналитический метод основывается на визуальном представлении движения транспортных средств через систему координат. Расчетный метод позволяет получить прямую и обратную ленты времени максимальной суммарной ширины, но требует совпадения моментов переключения разрешающих сигналов, что не всегда возможно на практике. Модифицированный расчетный метод учитывает дополнительные факторы, такие как различия в структурах промежуточных тактов на перекрестках и особенности схем организации движения.

Оптимизация параметров светофорного регулирования с учетом максимальной ширины ленты времени является важным шагом в совершенствовании управления транспортными потоками, особенно в условиях увеличивающейся транспортной нагрузки на городские магистрали. Внедрение таких методов позволяет повысить скорость движения, уменьшить количество остановок на перекрестках и снизить выбросы загрязняющих веществ, что способствует улучшению экологической обстановки в городах.

Графоаналитический метод

Для организации эффективного движения на участке улично-дорожной сети рассматриваются схемы, параметры элементов магистрали и светофорного регулирования. Исходные данные включают схемы, длины элементов и продолжительность циклов светофорного регулирования (Таблица 1).

Условные обозначения: a, b, c, d – продолжительность тактов цикла светофорного регулирования (время горения соответственно красного, красно-желтого, зеленого и желтого сигналов светофора).

Таблица 1 – Значения параметров участка улично-дорожной сети, циклов светофорного регулирования и скоростей

ЛА, м		ЛАБ, м		ЛБ, м		ЛБВ, м		ЛВ, м		ЛВГ, м		ЛГ, м		Скорость, км/ч, V_{AG} , V_{GA}	
30		310		20		180		32		300		20		40	45
Значения циклов светофорного регулирования по перекресткам, с															
А				Б				В				Г			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
25	3	21	3	27	3	23	3	35	2	27	2	26	3	22	3

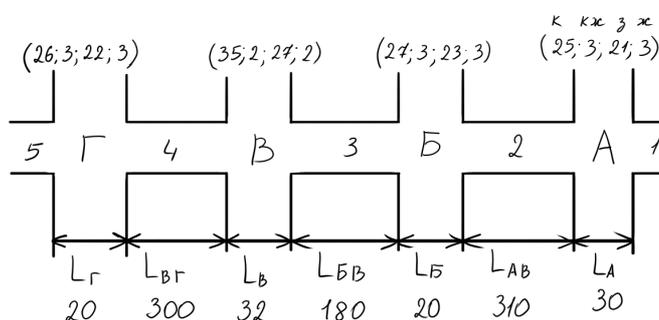


Рисунок 1 – Схема участка улично-дорожной сети (по данным)

Ключевым перекрестком считается тот, где рассчитана наибольшая длительность цикла, и его параметры используются для координации управления другими перекрестками. В условиях высокой интенсивности движения длительность циклов светофоров рекомендуется сокращать на 15–20 %. График координации строится на основе схемы магистрали с указанием расстояний между перекрестками и режимов регулирования. Показатель tl определяет ширину так называемой ленты времени. Лента времени устанавливает безостановочное движение: если фактический график движения находится внутри ленты, движение будет безостановочным.

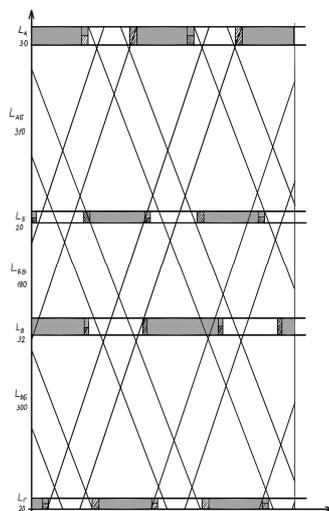


Рисунок 2 – Первоначальный этап построения графика координированного движения

Для встречного направления используется аналогичная лента времени с обратным наклоном. Коррекция графика осуществляется изменением ширины ленты, расчетной скорости или длительности зеленого сигнала, но эти изменения должны быть разумными.

После коррекции графика на него наносят все ленты времени для потоков прямого и встречного направлений. В результате он приобретает законченный вид (рисунок 3).

Для расчета задержек транспортных средств на регулируемых перекрестках используется формула Вебстера.

$$t_{\Delta p} = 0,9 \left(\frac{T_{\text{ц}}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda N)} + \frac{X^2}{2N(1-X)} \right) \quad (1)$$

$$t_{\Delta p} = 0,9 \left(\frac{52(1-0,4)^2}{2(1-0,4 \times 9)} + \frac{9^2}{2 \times 2,22(1-9)} \right) = 0,9 \left(\frac{1040}{111} - \frac{1}{708624} \right) = 8,43,$$

где λ – отношение длительности разрешающего сигнала ко времени цикла; X – степень насыщения направления движения; N – интенсивность движения в данном направлении, ед/ч.

Отношение длительности разрешающего сигнала ко времени цикла:

$$\lambda = \frac{t_0}{T_{\text{ц}}} = \frac{21}{52} = 0,4, \quad (2)$$

где t_0 – время основного такта (горения зеленого света) для данного перекрестка, с; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла светофорного регулирования, с.

Степень насыщения направления движения

$$X = \frac{T_{\text{ц}} \times N}{t_0 \times M_{\text{н}}} = \frac{52_{\text{с}} \times 2,22_{\text{ед/с}}}{22000_{\text{ед/ч}} \times 21_{\text{с}}} = 9, \quad (3)$$

где $M_{\text{н}}$ – поток насыщения в данном направлении; принимается равным 2200 ед/ч.

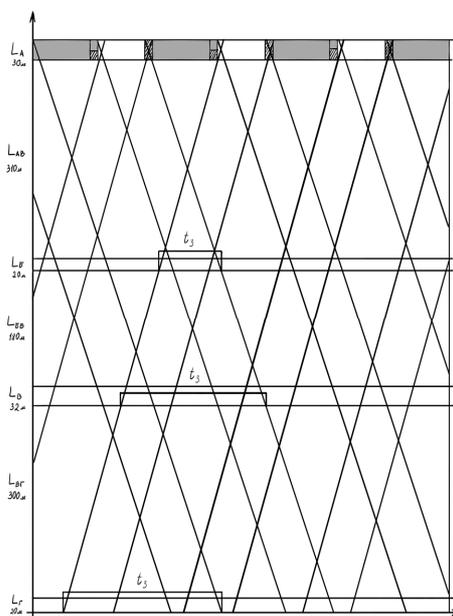


Рисунок 3 – График координированного управления движением на городской магистрали

График координированного управления позволяет обеспечить синхронизацию светофоров и минимизировать задержки транспорта, улучшая пропускную способность магистрали.

Поиск оптимальной схемы движения по городу с использованием принципа «зеленой волны»

Объект исследования – это сеть дорог, регулируемая светофорами. Основное внимание уделяется зависимости времени поездки от скорости и маршрута движения. Принцип «зеленой волны» описывается следующим образом: «Зеленая волна» – это система автоматического управления светофорами, которая синхронизирует сигналы таким образом, чтобы автомобили могли проезжать расстояния между перекрестками без остановок, двигаясь с определенной скоростью. Эффективность координированного регулирования зависит от соблюдения водителями этой расчетной скорости. Синхронная система (или "зеленая улица"): сигналы одинаковой продолжительности включаются одновременно на всех перекрестках магистрали.

Моделирование "зеленой улицы" представляет собой перемещение по маршруту с синхронизированными светофорами. Предполагается, что движение начинается одновременно с включением зеленого сигнала. Все данные для расчетов принимаются равными значениям из таблицы 1.

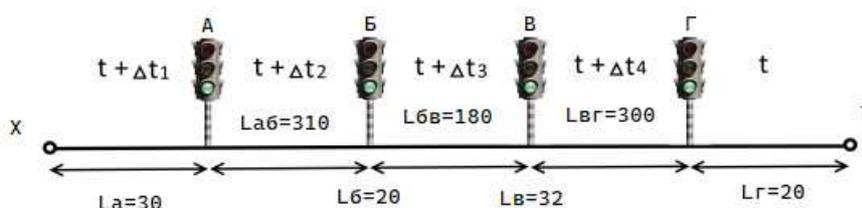


Рисунок 4 – Схема маршрута для демонстрации эффекта «зеленой улицы»

Время проезда определяется суммой времени проезда между перекрестками и задержек на красный сигнал:

$$t_{AG} = t_A + (t_{AB} + t) + (t_{BV} + t) + (t_{VG} + t) + t_G, \quad (4)$$

где t_{AG} – время проезда по маршруту АГ; t_{AB} , t_{BV} , t_{VG} – время проезда одного отрезка маршрута; t – время задержки на светофорах.

Рассмотрим первый отрезок: автомобиль стартует из точки X при включении зеленого сигнала на светофоре А, расстояние до светофора – 30 м, скорость – 40 км/ч (11,1 м/с). Время проезда до светофора А составляет 1,35 с. В заданных условиях зеленый сигнал продолжает гореть при подходе автомобиля к светофору. Аналогичные расчеты проводятся для остальных светофоров до достижения точки Y.

Если автомобиль достигает перекрестка при зеленом сигнале, он продолжает движение без остановки, учитывая время работы сигнала до пересечения перекрестка. При красном сигнале – ожидает включения зеленого. Важно учитывать время на торможение и разгон, приблизительно 10 секунд на каждую остановку.

В таблице 2 представлен пример результата расчетов с помощью таблицы в Microsoft Excel для скорости 40 км/ч.

Таблица 2 – Пример результата расчетов для скорости 40 км/ч

	A	B	C	D	E	F
1	Номер отрезка	A	AB	BB	BG	Г
2	Длина отрезка S, м	15	335	206	326	10
3	Время отрезка t, с	1,35	30,18	18,56	29,37	0,90
4	Время задержки Δt, с	-	33,82	-	-	-
5	Время, к-е работал зел.свет tзс, с	19,65	-	9,09	16,72	-
6	Количество переключений светофора n	0	2	4	7	-
7	Общее время tAG, с	114,18				

В таблице 2 приведены результаты расчетов для скорости 40 км/ч, где видно, что автомобиль останавливался на красный сигнал в пункте С, с задержкой примерно 33,82 секунды. Таким образом, общее время проезда при "зеленой волне" составило 114,18 секунд.

Детерминированная модель расчета плана координации по магистрали

Исследование касается модели городской магистрали длиной L, начинающейся и заканчивающейся Т-образными перекрестками, с самой высокой интенсивностью движения. Магистраль включает n+1 перекрестков, каждый из которых оснащен двухфазным светофором.

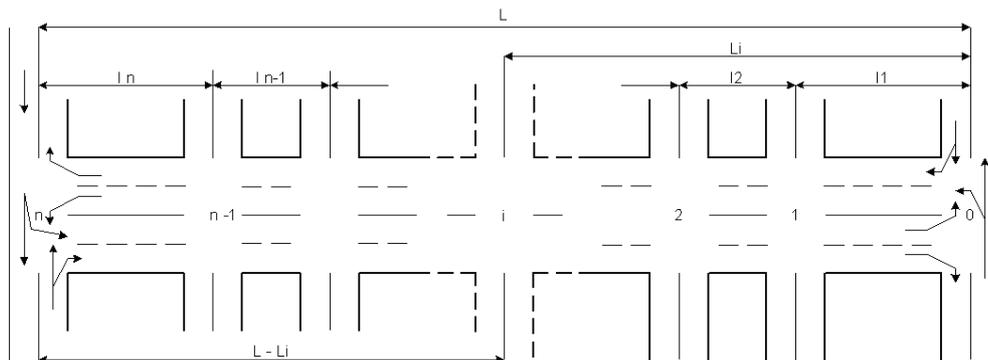


Рисунок 5 – Схема магистрали с n+1 перекрестками

Для упрощения модели введены следующие ограничения.

1. **Поток автомобилей.** На Т-образных перекрестках автомобили въезжают и выезжают в равночисленных пачках. Размер пачки определяется длительностью зеленого сигнала светофора. Считается, что на Т-образных перекрестках всегда достаточно автомобилей для формирования пачки заданного размера. Количество въезжающих и выезжающих пачек на обоих концах магистрали одинаково.

2. **Скорость движения.** Автомобили в пачке движутся с одинаковой скоростью v , без эффекта диффузии пачки. Размер пачки остается постоянным.

3. **Длительность цикла.** Длительность светофорного цикла $T_{ц}$ равна времени, необходимому для прохождения переднего края пачки длиной $l_{нач}$ по самому короткому участку магистрали:

$$l_k = \min_{i=1}^n \{l_1, l_2, \dots, l_n\} \quad (5)$$

4. **Светофоры.** Все светофоры работают с одинаковым временем цикла. Светофоры на начальном и конечном перекрестках (СФ00 и СФ0n) синхронизированы, а остальные могут иметь фазовый сдвиг относительно базовых светофоров при необходимости.

5. **Длина пачки.** Длина пачки $l_{пач}$ автомобилей, формируемых на входах магистрали (СФОО, СФОн), определяется как $l_{пач} = v * t_3$, где t_3 – время зеленого сигнала на входных светофорах СФОО и СФОн.



Рисунок 6 – Въезд пачек автомобилей на магистраль

Основная цель координации светофоров – обеспечение непрерывного движения транспорта, что экономически важно для снижения расхода топлива, выбросов и шума. План координации состоит из сдвига фаз, длительности фаз и цикла регулирования. Возможны три топологии магистрали: равные расстояния между перекрестками, кратные минимальному расстоянию и некратные отрезки.

В последнем случае расчеты сводятся к определению фазового сдвига светофоров, чтобы колонны автомобилей могли без остановок проезжать магистраль. Остаток r_i от деления расстояния до светофора на базисный отрезок определяет задержку зеленого сигнала. Рассмотрим третий случай. Самый короткий отрезок магистрали l_k , который является базисным (по нему рассчитывалась длительность цикла). Разделим этот отрезок на десять равных частей и обозначим полученный дискрет длины $\Delta l = l_k / 10$ (6). Ему соответствует временной дискрет $\Delta t = T_u / 10$ (7).

$$T_u = \frac{206_m}{11,1_m/c} = 18,54_c;$$

$$\Delta t = \frac{T_u}{10} = \frac{18,54_c}{10} = 1,854_c;$$

$$\Delta l = \frac{l_k}{10} = \frac{206_m}{10} = 20,6_m.$$

Рассчитаем остаток от деления расстояния L_i до i -го светофора на l_k :

$$L_i = p * l_k + r_i, \quad (8)$$

где p – частное от деления на l_k , а r_i – остаток, расстояние меньше $2l_k$, т. е. $0 < r_i < l_k$.

Пример расчета для участка $L_{01} = 350$ м показал остаток $r_i = 0,6$, что соответствует задержке 0,6 дискрета времени. Аналогичные расчеты проведены для других участков.

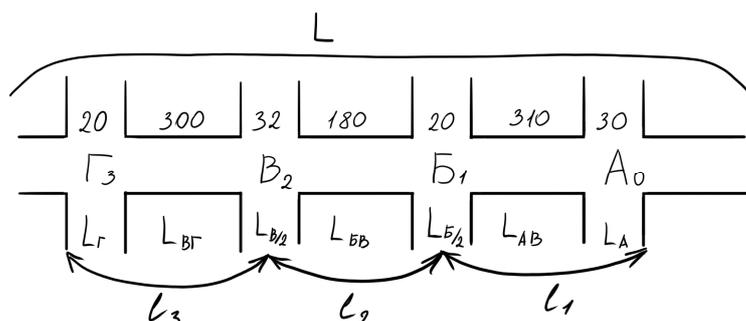


Рисунок 7 – Общий вид участков пути

$l_1 = L_{01} = 350 \text{ м}, l_2 = L_{02} = 206 \text{ м}, l_3 = L_{03} = 336 \text{ м},$
 $l_k = 206 \text{ м}, l_{нач} = v * t_3 \text{ (для 0 и n)}, l_{нач} = 11,1 \text{ м/с} * 21 \text{ с} = 233 \text{ м (для 0)},$
 $l_{нач} = 11,1 \text{ м/с} * 22 \text{ с} = 244 \text{ м (для n)}.$

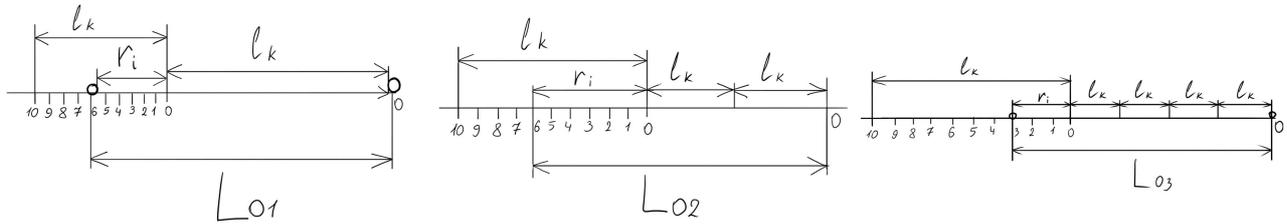


Рисунок 8 – Укладка справа налево отрезков l_k на магистраль и образование остатка r_i на участке L_{01}, L_{02}, L_{03}

Для участка L_{01} : $L_{01} = p * l_k + r_i, 350 = 1 * 206 + 144,$
 $r_i = 0,6 T_u$ или $10 - r_i = 0,4 T_u.$

Для участка L_{02} : $L_{02} = p * l_k + r_i, 556 = 2 * 206 + 144$
 $r_i = 0,6 T_u$ или $10 - r_i = 0,4 T_u.$

Для участка L_{03} : $L_{03} = p * l_k + r_i, 892 = 4 * 206 + 68$
 $r_i = 0,3 T_u$ или $10 - r_i = 0,7 T_u.$

Аналогичная ситуация наблюдается и при встречном движении, то есть от СФО n и до СФО i .

$$L - L_i = m * l_k + c_i. \quad (9)$$

Проведем вычисления для наших значений.

Итак, с $1 = 6 \Delta t, 6 \Delta t + 4 \Delta t = 10 \Delta t$ – занято зеленым сигналом светофора. Таким образом, $10 \Delta t + 2 \Delta t = 12 \Delta t$. На боковое направление съезда остается $-2 \Delta t$. Эти же данные получатся для расстояния $L - L_{02}$. Для расстояния $L - L_{03}$: с $2 = 0 \Delta t, 3 \Delta t$ – остается на боковое направление съезда.

Построение номограммы транспортных потерь (остатков) показывает, что светофорный объект может быть удачно или неудачно расположен на магистрали. Потери зеленой фазы светофорного цикла могут быть полупродуктивными (проезд потока в одном направлении) и непродуктивными (отсутствие проезжающих автомобилей).

Матрица потерь Q_i размером 10×10 учитывает остатки r_i и c_i . Эти данные используются для оптимального распределения времени светофорного цикла, чтобы минимизировать транспортные потери и обеспечить эффективное управление движением.

Формулы для расчета времени зеленого сигнала t_3 и времени для бокового направления $t_{3б}$ позволяют определить оптимальные светофорные фазы для максимальной эффективности использования магистрали

Время горения зеленого сигнала по магистрали t_3 должно быть

$$t_3 = Q_i + l_{нач} / v. \quad (10)$$

На конкурирующее направление (боковое) остается время :

$$t_{3б} = T_u - (Q_i + l_{нач} / v). \quad (11)$$

Формулы (10), (11) являются достаточными для расчета светофорных фаз.

$$Q1 = [| c_1 - r_1 |] = 0 < 5.$$

$$Q2 = [| c_2 - r_2 |] = 0 < 5.$$

$$Q3 = [10 - | c_3 - r_3 |] = 10 - 7 = 3 > 5.$$

$$t_{31} = t_{32} = 0 + 233/11,1 = 21 \text{ с.}$$

$$t_{361} = t_{362} = -21 \text{ с} + 18,54 \text{ с} = -2,5 \text{ с.}$$

$$t_{33} = 3 \text{ с} + 21 \text{ с} = 24 \text{ с.}$$

$$t_{363} = 18,5 \text{ с} - 24 \text{ с} = -5,5 \text{ с.}$$

Таблица 3 – Матрица – номограмма остатков

Движение справа налево

Движение слева направо	c\r	0	-1	-2	-3	-4	-5 (+5)	-6 (+4)	-7 (+3)	-8 (+2)	-9 (+1)
	0	0	1	2	3	4	5	4	3	2	1
	-1	1	0	1	2	3	4	5	4	3	2
	-2	2	1	0	1	2	3	4	5	4	3
	-3	3	2	1	0	1	2	3	4	5	4
	-4	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
	-5 (+5)	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4
	-6 (+4)	4	5	4	3	2	1	0	1	2	3
	-7 (+3)	3	4	5	4	3	2	1	0	1	2
	-8 (+2)	2	3	4	5	4	3	2	1	0	1
	-9 (+1)	1	2	3	4	5	4	3	2	1	0

Сравнение методов

В данной работе мы рассмотрели различные методы координации работы светофоров, включая графоаналитический метод, принцип "зеленой волны" и детерминированную модель расчета плана координации. Каждый из этих методов имеет свои уникальные особенности, преимущества и недостатки. Результаты расчетов для графоаналитического метода и детерминированной модели расчета плана координации оказались равными 24 с. Однако графоаналитический метод исключает из себя точность и наглядность детерминированной модели расчета, также требует значительной корректировки при построении, но позволяет визуально оценить движение транспортных потоков и является интуитивно понятным. Метод трудоемкий, требует тщательного анализа и плохо приспособлен к динамическим изменениям транспортных потоков. Основные преимущества детерминированной модели расчета – учет широкого спектра факторов и точные расчеты для обеспечения непрерывного движения. Однако метод требует сбора и анализа большого объема данных и может быть менее гибким при резких изменениях в транспортной обстановке.

Принцип "зеленой волны" направлен на создание условий для непрерывного движения автомобилей по магистралям с минимальными остановками на светофорах. Основные преимущества включают снижение транспортных задержек, увеличение средней скорости движения и сокращение выбросов вредных

веществ. Однако метод требует точной настройки скорости и фаз светофоров, что сложно в реальных условиях дорожного движения. Благодаря данному методу можно явно отследить произведенные двумя предыдущими методами улучшения дорожного движения. Таким образом, если изменить продолжительность тактов цикла светофорного регулирования зеленого и красного цвета на 24 с., то общее время уменьшится с 114,18 с до 106,83.

Выбор наиболее подходящего подхода зависит от конкретных условий и целей управления дорожным движением. Графоаналитический метод полезен для визуального анализа и настройки светофоров, принцип "зеленой волны" улучшает транспортные условия на магистралях, а детерминированная модель предлагает наибольший потенциал для оптимизации, но требует значительных усилий для сбора данных и анализа. Эффективное управление дорожным движением в современном городе, вероятно, потребует сочетания различных методов и подходов для наилучшего удовлетворения потребностей всех участников дорожного движения и обеспечения бесперебойного и безопасного движения транспортных средств.

Заключение

В ходе исследования был проведен обзор литературы, посвященный проблематике координированного регулирования дорожного движения, с акцентом на анализе существующих моделей и методов расчета параметров.

Рассмотренные в данной работе подходы, такие как графоаналитический метод, принцип "зеленой волны" и детерминированная модель расчета, демонстрируют различные возможности оптимизации работы светофоров. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, что делает их сочетание необходимым для достижения максимальной эффективности. Внедрение интеллектуальных систем адаптивного управления, которые способны учитывать динамические изменения транспортных потоков, может значительно снизить зазоры, повысить среднюю скорость движения и улучшить экологическую ситуацию в городах.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке и апробации более гибких и адаптивных алгоритмов управления, которые смогут учитывать изменяющиеся условия городской среды и обеспечивать безопасное и непрерывное движение транспортных средств [12–15].

Список цитированных источников

1. Войцехович, О. Ю. Жесткое и адаптивное управление автотранспортом / О. Ю. Войцехович, В. Н. Шуть // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сб. науч. трудов / НИЦ ДД БНТУ. – Минск, 2011. – С. 159–164.
2. Войцехович, О. Ю. Стратегия оптимизации движения автомобилей по магистрали города с использованием бинарного дерева решений / О. Ю. Войцехович, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011) : материалы междунар. науч. конф., г. Минск / БГУИР. – Минск, 2011. – С. 187–188.
3. Иванов, В. П. Детерминированная модель координированного регулирования движения автотранспорта на магистрали / В. П. Иванов, В. Н. Шуть, О. Ю. Войцехович // Вестник БНТУ. – 2011. – №3. – С. 33–37.
4. Анфилец, С. В. Оценка эффективности светофорного регулирования на перекрестке при использовании адаптивного управления на основе нейросетевого прогнозирования транспортных потоков / С. В. Анфилец, В. В. Касьяник, В. Н. Шуть. // Нейроинформатика-2011 : сб. науч. трудов XIII Всеросс. науч.-технич. конфер., 24–28 янв. 2011 г., г. Москва / Науч.-исслед. Ядерн. Ун-т МИФИ. – М., 2011. – Ч. 1.

5. Шуть, В. Н. Оптимизация и координация управления светофорными объектами / В. Н. Шуть, О. Ю. Войцехович // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. статей Междунар. науч.-практич. конф., 23–24 окт. 2010 г., г. Минск. – С. 69–73.

6. Шуть, В. Н. Модель магистрали для компьютерного расчета планов координации / В. Н. Шуть // Проблемы и перспективы развития евроазиатских транспортных систем : Материалы третьей Междунар. науч.-практич. конф., 12 мая 2011 г., г. Челябинск ; под ред. О. Н. Ларина, Ю. В. Рождественского / ЮУрГУ. – Челябинск, 2011. – С. 256–261.

7. Шуть, В. Н. Концепция городского бессветофорного движения / В. Н. Шуть // Електроніка та інфармаційні технології (ЕлІТ-2012) : Матеріали IV-ої науково-практичної конф., 27–30 серпня 2012 р., Львів – Чинадієво. – С.11–14.

8. Шуть, В. Н. Мультиагентный подход в решении транспортных проблем городов / В. Н. Шуть, В. В. Касьяник // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2012 : Материалы Междунар. науч.-технич. конф., г. Донецк / ИПИИ. – Донецк, 2012. – С. 203–206.

9. Anfilets, S. Application of algorithms for searching motion in the frame for the detection of vehicles / S. Anfilets, V. Kasyanik, V. Shuts // PRIP'-2011 : Proceedings of the 11 International Conference. – Minsk, 2011. – P. 378–380.

10. Anfilets, S. V. Adaptive Control Algorithm Based on a Phased Set of Traffic Lights on Main Street / S. V. Anfilets, V. N. Shuts // Transbaltica-2011 : Proceedings of the 7th International Scientific Conference, 5-6 May 2011, Vilnius, 2011 – P 7–10.

11. Vaitsekhovich, O. Real-time strategy of arterial traffic movement optimization with binary tree building / O. Vaitsekhovich, V. Shuts // Transbaltica-2011 : Proceedings of the 7th international scientific conference, 5–6 May 2011, Vilnius, 2011. – P. 142–148.

13. Shuts, V. N. Determined Model and Scale Diagrams to Investigate Problem of Transport Delays / V. N. Shuts, O. Vaitsekhovich // Transport and Telecommunicatio/ – 2011. – Vol. 12/ – No 4. – P. 52–60.

14. Shuts, V. Determined model of coordination for an arterial highway. / V. Shuts, O. Vaitsekhovich // Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'11) : Proceedings of the 11th International Conference, 19–22 Oct. 2011, Riga, Latvia. – P 135–139.

15. Shuts, V. A new approach to solve crosswalk problems / V. Shuts, O. Vaitsekhovich // International Congress Of Heavy Vehicles, Road Trains And Urban Transport. – Minsk : 2010. – P. 176–181.

УДК 004.4'22

ОБЗОР И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УЯЗВИМОСТИ XSS НА РНР В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Д. А. Дворяк, бакалавр, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: dianadvoryak.w@gmail.com

*Е. А. Алуев, инженер-программист «ЭПАМ Системз» ИООО,
Брест, Беларусь, e-mail: alooeff@gmail.com*

Реферат

В статье рассматриваются методы предотвращения уязвимости XSS (Cross-Site Scripting) в веб-приложениях на РНР, с акцентом на их эффективность и применимость на практике. Статья представляет обзор каждого метода, включая его основные принципы работы, преимущества и недостатки. Кроме того, описываются реальные примеры применения каждого метода в практике