

Д. Н. Самисько, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КООРДИНИРОВАННОГО СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Усовершенствована методика проектирования координированного светофорного регулирования за счет определения скоростей и времени движения автомобилей по магистрали координированного движения на основании компьютерного моделирования движения средне-статистического для транспортного потока автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, геометрические параметры, длительность цикла, координированное светофорное регулирование, поток насыщения, светофор, траектория движения

Введение

Светофорное регулирование является одним из основных средств обеспечения безопасности дорожного движения. В связи с этим в современных городах постоянно увеличивается количество светофорных объектов, что, в свою очередь, усиливает требования к качеству проектирования таких объектов и режимов регулирования. Одним из путей уменьшения задержек транспортных средств на светофорных объектах является внедрение координированного светофорного регулирования.

Существенно облегчить работу проектировщиков и повысить качество проектирования светофорных объектов с координированным регулированием позволяет применение компьютерного моделирования.

Анализ публикаций

Одной из задач организации дорожного движения является повышение пропускной способности перекрестков. Координированное управление транспортными потоками является одним из путей решения этой проблемы, обеспечивая согласованную работу смежных светофоров, при которой водители могут следовать по магистрали практически без остановок.

Вопросы исследования координированного управления транспортными потоками отражены как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Методы координированного управления разрабатывались Е. М. Лобановым [1], Б. И. Грановским [2], В. Т. Капитановым [3], В. В. Петровым [4]; за рубежом – Д. Робертсоном, Д. Уиземом, И. Виндольфом, И. Бертольдсом [5] и другими учеными.

Среди основных методов расчета координированного светофорного регулирования можно выделить: графоаналитический метод, комбинационный метод (Великобритания), СИГОП (США), ДАСАМ (Швеция), ТРАНЗИТ (Великобритания) [5].

Основными исходными данными для всех методик расчета координированного светофорного регулирования являются: количество перекрестков и расстояния между ними; интенсивности транспортных потоков, прибывающих к каждому перекрестку; потоки насыщения для прямого и пересекающего направлений; расчетная скорость для каждого перегона; ширина проезжих частей, пересекаемых пешеходами на каждом перекрестке. Общим недостатком всех существующих методов является использование в расчетах скоростей движения, определенных в результате натурных обследований.

Натурные наблюдения за транспортным потоком не способны предоставить достоверную информацию о расчетной скорости, необходимую для проектирования координиро-

ванного управления дорожным движением.

Одним из способов получения значений расчетной скорости является компьютерное моделирование. Существенным преимуществом данного метода перед натурными наблюдениями является возможность моделирования при различных исходных данных.

Цель работы

Усовершенствовать методику проектирования координированного светофорного регулирования на основании компьютерного моделирования движения транспортного потока на перегонах магистрали.

Основная часть

Обобщая всю имеющуюся информацию по внедрению координированного светофорного регулирования, представим на рисунке 1 последовательность этапов методики проектирования координированного светофорного регулирования [5].

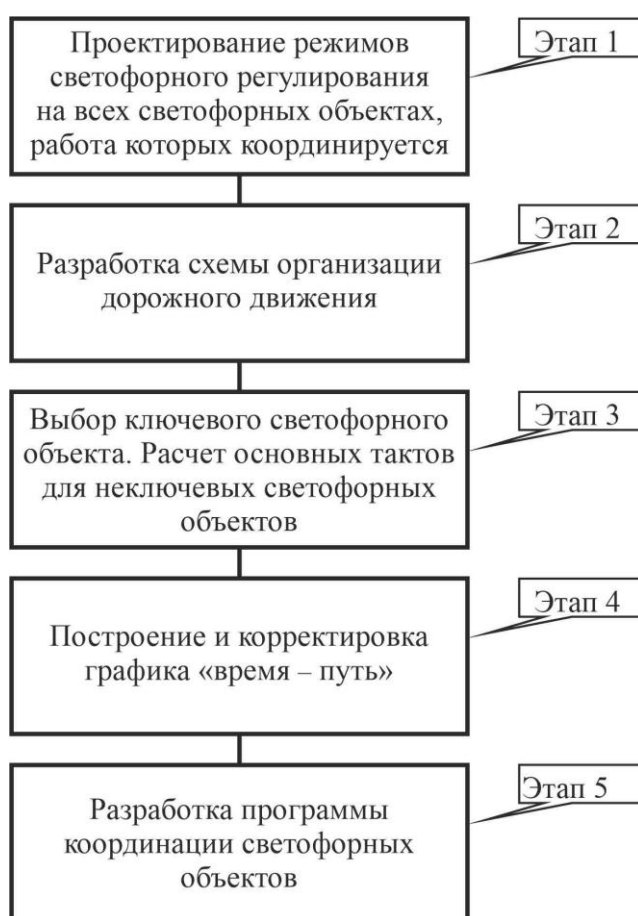


Рисунок 1 – Этапы существующей методики проектирования координированного светофорного регулирования

Отдельно следует остановиться на четвертом этапе методики, во время которого строится график движения по магистрали координации лидеров групп транспортных средств для прямого и обратного направлений движения. При этом исходят из предположения, что скорость движения лидеров групп транспортных средств остается величиной постоянной для всей магистрали координации. Значение этой скорости принимается равным скорости 85 % обеспеченности, увеличенной на 5–8 км/ч и кратной 5 км/ч [5].

По мнению автора, более точных результатов по определению скорости движения лидеров групп транспортных средств можно добиться с применением имитационного моделирования движения автомобилей по перегонам магистралей.

Ранее была разработана компьютерная программа «Расчеты скоростей и времени движения» [6]. Целью создания этого программного продукта являлось моделирование движения автомобилей на подходах к территории перекрестка и определение времени их движения. Данная программа, в зависимости от введенных исходных данных, способна моделировать движение автомобилей и определять время их движения как на подходах к пересечениям и примыканиям, а также на их территориях, так и на перегонах между пересечениями и примыканиями.

По результатам моделирования движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля становится возможным проводить корректировку режимов работы светофорных объектов, на которых осуществляется координированное светофорное регулирование. Так, например, при ухудшении погодных условий неизбежно снижается коэффициент сцепления, который в свою очередь приводит к снижению безопасной скорости движения по перегонам. При существующем положении дел автомобиль, въехавший на магистраль с координированным светофорным регулированием на зеленый сигнал светофора на первом пересечении, может не успеть доехать до следующего пересечения до момента смены на нем сигнала на запрещающий.

Разработанные в [7, 8] алгоритмы моделирования скоростей движения позволяют определять время проезда автомобилем перегона при любых значениях исходных данных.

Таким образом, применение результатов имитационного моделирования движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля позволяет внести изменения в существующую методику проектирования координированного светофорного регулирования.

Изложим основные этапы усовершенствованной методики проектирования координированного светофорного регулирования.

1. Выбор среднестатистического для транспортного потока автомобиля и сбор исходных данных о его технических характеристиках в соответствии с перечнем, приведенным в [6].

2. Сбор исходных данных о дорожных условиях, сложившихся на территории перегона. При этом для каждой полосы магистрали с координированным светофорным регулированием и на всех подходах к ним необходимо построить развернутые планы в соответствии с исходными данными, перечисленными в [6].

3. Моделирование движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля на территории магистрали с помощью компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения».

В результате моделирования для каждой полосы становится известным время, затрачиваемое на движение по магистрали между стоп-линиями и по территориям пересечений. При моделировании учитываются дорожные условия, технические характеристики среднестатистического для транспортного потока автомобиля, существующая (или предлагаемая) организация дорожного движения на пересечениях и перегонах, и психофизиологические особенности водителя.

4. Проектирование режимов светофорного регулирования для всех светофорных объектов, работа которых координируется.

5. Разработка схемы организации дорожного движения. При этом целесообразно предусмотреть установку дорожных знаков переменной информации, указывающих рекомендуемую скорость для автомобилей с учетом меняющихся дорожных условий.

6. Выбор ключевого светофорного объекта и расчет основных тактов для неключевых светофорных объектов.

7. Построение и корректировка графика «время – путь».

График «время – путь» строится в системе прямоугольных координат. По горизонтальной оси откладываются значения времени, а по вертикальной – пути.

Слева от вертикальной оси с соблюдением вертикального масштаба вычерчивается план магистрали с указанием границ характерных однородных участков.

Вправо через границы светофорных объектов параллельно горизонтальной оси проводятся по две линии, являющиеся продолжениями стоп-линий на пересечениях. Пространство между этими линиями называется «полосой светофорного объекта».

На полосе ключевого светофорного объекта в масштабе слева направо наносятся последовательности смены сигналов, регулирующих движение на магистрали координации. При этом следует нанести последовательно 6–10 циклов регулирования.

Далее строятся графики движения лидеров групп транспортных средств по магистрали координации в прямом и обратном направлениях. Графики движения берутся из программы «Расчет скорости и времени движения». Примеры графиков зависимостей времени от пути и пути от скорости приведены на рисунке 2.

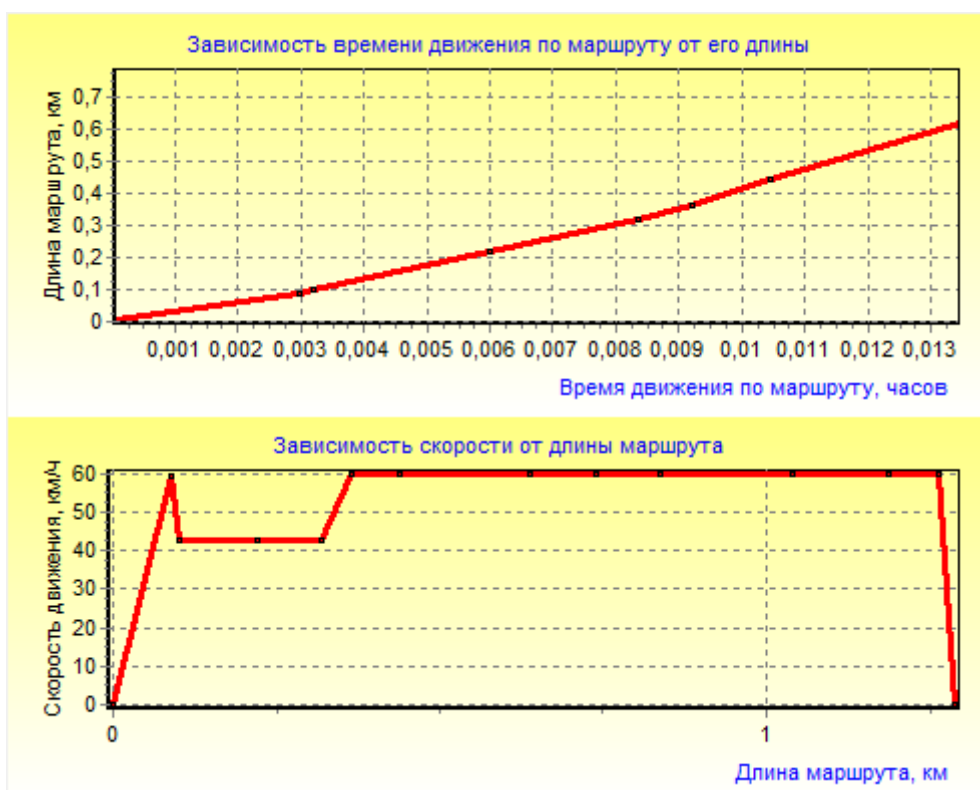


Рисунок 2 – Примеры графиков зависимостей времени от пути и пути от скорости, взятые из программы «Расчет скорости и времени движения»

Графики следует начинать строить через точки начала зеленых сигналов на ключевых перекрестках для прямого и обратного направлений движения. Те же наклонные линии следует проводить через точки, соответствующие выключению зеленого сигнала. Пространство между наклонными линиями, проходящими через точки включения и выключения зеленого сигнала на ключевом перекрестке, называется «лентой безостановочного движения». Физический смысл ленты заключается в том, что если график движения автомобиля попадает в границы ленты, то этому автомобилю гарантируется безостановочное движение по всей магистрали. С целью регулирования скорости движения автомобилей предлагается использовать знаки переменной информации, указывающие рекомендуемые безопасные значения скоростей движения на перегонах. Кроме того, эти знаки позволят значительно повысить безопасность дорожного движения при ухудшении дорожных условий. Размер ленты должен быть не уже чем 0,3 от времени цикла регулирования.

Режим работы светофорных объектов считается скоординированным, если ленты безостановочного движения в прямом и обратном направлениях на всех светофорных объектах, входящих в систему координации, проходят в границах зеленых сигналов светофоров.

Классическим способом корректировки графика координации является изменение расчетной скорости для всего перегона между соседними перекрестками, что не всегда является безопасным. В предлагаемой методике становится возможным проведение объективного анализа резервов повышения (или снижения) скоростей движения на отдельных характеристичных однородных участках магистрали с учетом характеристик выбранного среднестатистического для транспортного потока автомобиля и дорожных условий, сложившихся на соседних участках.

8. Разработка программы координации светофорных объектов.

После коррекции графика «время – путь» на полосах всех неключевых светофорных объектов в масштабе наносится последовательность сигналов светофоров, регулирующих движение по магистрали координации. При этом ленты безостановочного движения должны быть полностью размещены в пределах зеленого сигнала по магистрали координации.

Таким образом, усовершенствованная методика проектирования скоординированного светофорного регулирования позволяет учитывать параметры реальных среднестатистических для транспортного потока транспортных средств и дорожные условия, сложившиеся на характерных однородных участках магистрали координации. Полученные в результате компьютерного моделирования значения скоростей и времени движения по отдельным характеристичным однородным участкам магистрали позволяют организовать скоординированное светофорное регулирование, которое базируется на реальных динамически изменяющихся исходных данных.

Усовершенствованная методика была использована при расчете скоординированного светофорного регулирования по улице Артема в городе Донецке – на перегоне от пересечения улицы Артема с проспектом Богдана Хмельницкого до пересечения улицы Артема с проспектом Театральный. Были проведены моделирования движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля ZAZ Lanos для летнего и зимнего периода года для каждого пересечения и перегона по каждой полосе движения в каждом направлении.

Результаты моделирования показывают, что для летних условий значения смоделированных скоростей движения для автомобиля ZAZ Lanos не отличаются от принятой при существующей схеме организации дорожного движения расчетной скорости 60 км/ч.

При этом в зимний период расчетная скорость 60 км/ч становится небезопасной на участках радиусов. При ухудшении погодных условий у автомобиля ZAZ Lanos на участке радиуса величиной 300 м (район пересечения улицы Артема с проспектом Богдана Хмельницкого) уже при скорости 25,3 км/ч начинается занос передней оси. На участке радиусом 500 м (перегон по улице Артема между ее пересечением с проспектом Богдана Хмельницкого и бульваром Шевченко) занос передней оси начинается при скорости 32,7 км/ч. Естественно, стремясь сохранить устойчивость автомобиля, водитель будет снижать скорость и тем самым может не успеть доехать до следующего пересечения до момента смены сигнала на запрещающий. То есть график «время – путь» для данного автомобиля выйдет за пределы «ленты безопасного движения».

На основании результатов моделирования движения автомобиля построим графики скоординированного регулирования для летних и зимних условий (рисунки 3, 4).

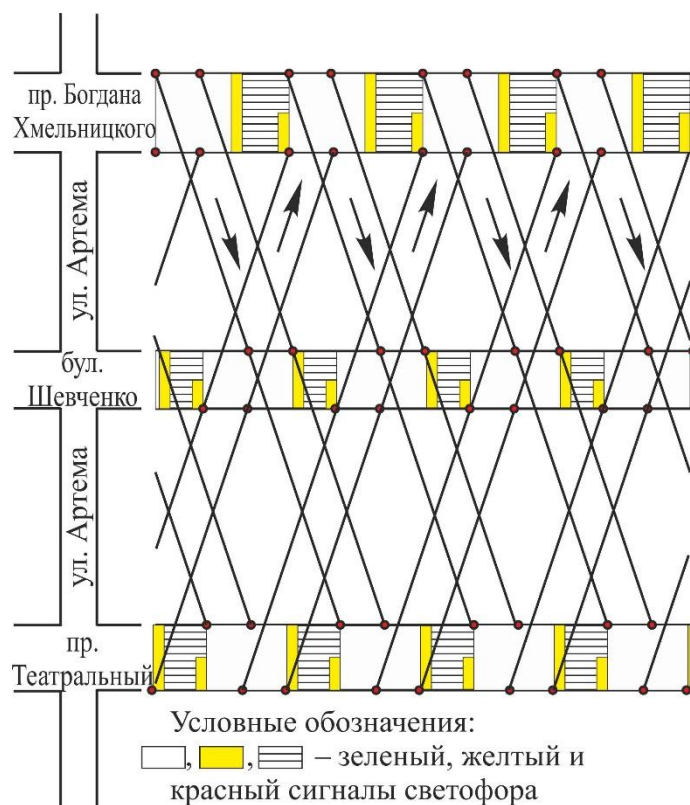


Рисунок 3 – График координированного регулирования на участке городской магистрали по улице Артема в городе Донецке для летних условий

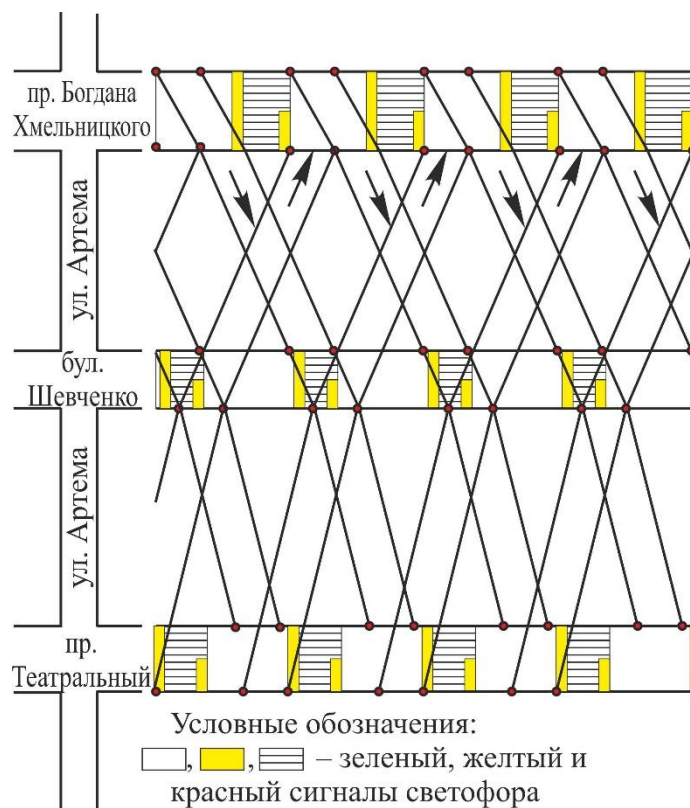


Рисунок 4 – График координированного регулирования на участке городской магистрали по улице Артема в городе Донецке для зимних условий без корректировки

Из графика на рисунке 4 видно, что без внесения корректировок в график координации автомобиль, проехавший пересечение проспекта Богдана Хмельницкого с улицей Артема на зеленый сигнал светофора, на пересечении улицы Артема с бульваром Шевченко попадет на запрещающий сигнал светофора. Следовательно, возникает необходимость в корректировке графика координированного регулирования.

При существующей методике внедрения координированного регулирования для проведения корректировки необходимо провести натурное наблюдение за дорожным движением и определить значение расчетной скорости. Ввиду того, что безопасная скорость движения автомобилей зависит от большого количества постоянно меняющихся факторов, такие наблюдения необходимо осуществлять постоянно.

Применение компьютерного моделирования позволяет существенно облегчить труд проектировщика, ведь компьютерная программа «Расчет скорости и времени движения» позволяет в течение короткого времени определить значения скоростей и времени движения автомобилей по характерным однородным участкам магистрали при любых исходных данных. Полученная информация позволяет построить графики «время – путь» и выполнить корректировку графиков координированного регулирования (рисунок 5).

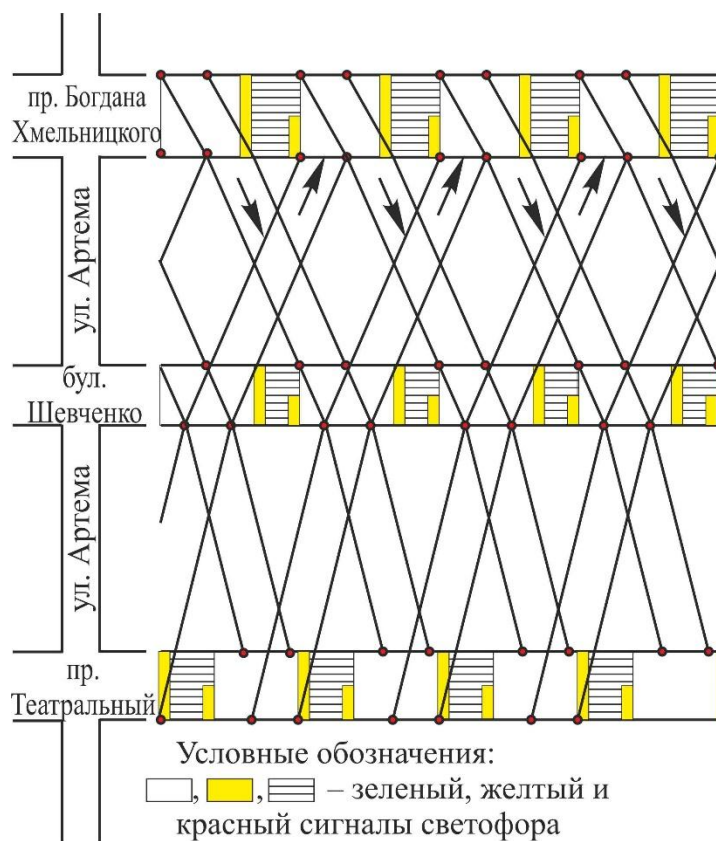


Рисунок 5 – График координированного регулирования на участке городской магистрали по улице Артема в городе Донецке для зимних условий с корректировкой

Кроме того, результаты моделирования движения автомобиля по характерным однородным участкам магистрали могут быть выведены на знаки переменной информации, что позволит существенно повысить безопасность дорожного движения и предотвратить дорожно-транспортные происшествия, вызванные превышением скорости неопытными водителями.

Заключение

Усовершенствована существующая методика проектирования координированного светофорного регулирования за счет определения скоростей и времени движения автомоби-

лей по магистрали координированного движения на основании компьютерного моделирования движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля.

Усовершенствованная методика была использована при расчете координированного светофорного регулирования по улице Артема в городе Донецке – на перегоне от пересечения улицы Артема с проспектом Богдана Хмельницкого до пересечения улицы Артема с проспектом Театральным.

Установлено, что для летних условий смоделированная скорость движения автомобиля не отличается от расчетной скорости и составляет 60 км/ч.

Результаты моделирования для зимнего периода показали, что расчетная скорость 60 км/ч становится небезопасной на участках радиусов. Для этих участков необходимо определять значения безопасных скоростей движения и использовать их при построении графика координированного регулирования.

Список литературы

1. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов : учебник для студентов вузов / Е. М. Лобанов. – Москва : Транспорт, 1990. – 240 с. – ISBN 5-277-00375-4.
2. Грановский, Б. И. Управление движением транспортных средств / Б. И. Грановский, Н. О. Брайловский. – Москва : Транспорт, 1975. – 110 с.
3. Капитанов, В. Т. Управление транспортными потоками / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – Москва : Транспорт, 1985. – 92 с.
4. Петров, В. В. Технология координированного управления / В. В. Петров, Л. А. Якушин. – Москва : ВНИЦ БД МВД СССР, 1988. – 86 с.
5. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – Москва : Академкнига, 2005. – 279 с.
6. Самисько, Д. Н. Определение потоков насыщения на основании компьютерного моделирования движения транспортного потока / Д. Н. Самисько // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute». – 2020. – № 2(33). – С. 19–29.
7. Самисько, Д. М. Моделивання процесу дорожнього руху транспортного засобу *i*-ю характерною однорідною ділянкою маршруту дослідження / Д. М. Самисько // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 3. – С. 38–46.
8. Самисько, Д. М. Алгоритм моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу / Д. М. Самисько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 1/4(55). – С. 43–50.

Д. Н. Самисько

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Проектирование координированного светофорного регулирования на основании компьютерного моделирования движения автомобилей

Предложена усовершенствованная методика проектирования координированного светофорного регулирования. В отличие от существующей методики усовершенствованная позволяет определять скорости и время движения на основании компьютерного моделирования движения среднестатистического для транспортного потока автомобиля. При моделировании учитываются дорожные условия, технические характеристики среднестатистического для транспортного потока автомобиля, существующая (или предлагаемая) организация дорожного движения на пересечении и психофизиологические особенности водителя. Предложено моделирование движения автомобилей осуществлять в разработанной автором компьютерной программе «Расчет скорости и времени движения».

Усовершенствованная методика была использована при расчете координированного светофорного регулирования по улице Артема в городе Донецке.

Установлено, что для летних условий смоделированная скорость движения автомобиля не отличается от расчетной скорости и составляет 60 км/ч. Результаты моделирования для зимнего периода показали, что расчетная скорость 60 км/ч становится небезопасной на участках радиусов. Для этих участков необходимо определять значения безопасных скоростей движения и использовать их при построении графика координированного регулирования.

АВТОМОБИЛЬ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЦИКЛА, КООРДИНИРОВАННОЕ СВЕТОФОРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПОТОК НАСЫЩЕНИЯ, СВЕТОФОР, ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ

D. N. Samisko
Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Coordinated Signal Control Designing Based on the Computer Simulation of the
Automobile Traffic

The improved method of the coordinated signal control designing is proposed. As opposed to the existing method, the improved one allows you to determine the speed and movement time based on the computer simulation of the average automobile traffic flow. The simulation takes into account the road conditions, technical characteristics of the average vehicle for the traffic flow, the existing (or proposed) traffic organization at the intersection and the psychophysiological characteristics of a driver. It is proposed to simulate the automobile movement in the computer program «Speed and Movement Time Calculation» developed by the author.

The improved method was used for calculating the coordinated signal control along the Artyom Street in the city of Donetsk.

It was found that for summer conditions the simulated vehicle speed does not differ from the design speed and it is 60 km/h. Simulation results for the winter period have shown that the estimated speed of 60 km / h becomes unsafe on the sections of radii. For these sections, it is necessary to determine the values of safe traffic speeds and use them when plotting a coordinated regulation schedule.

AUTOMOBILE, GEOMETRIC PARAMETERS, CYCLE DURATION, COORDINATED SIGNAL CONTROL, SATURATION FLOW, SIGNAL LIGHT, PATH OF MOTION

Сведения об авторе:

Д. Н. Самисько

SPIN-код: 6088-4257

Телефон: +38 (071) 318-99-61

Эл. почта: sdn1982@yandex.ru

Статья поступила 18.11.2020

© Д. Н. Самисько, 2020

Рецензент: А. Н. Дудников, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»