

Исследование эффективности метода дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки

Д.М. Елькин, В.С. Лапшин, С.А. Кучеров

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Обновление и расширение улично-дорожной сети, даже при наличии хорошего финансирования, не успевает за постоянно растущим количеством транспортных средств. Одним из путей решения этой проблемы является развитие направления в области создания интеллектуальных транспортных технологий. В работе была произведена проверка работоспособности метода дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки при работе на дорожной сети, выявлены условия для минимизации влияния точек задержки на улично-дорожную сеть. А также представлен логический проект автоматизированной системы для управления дорожным движением на основе предлагаемого метода дорожного регулирования.

Ключевые слова: точки задержки, область влияния точки задержки, имитационное моделирование, управление дорожным движением, трафик, математическая модель, АСУДД.

Введение

По данным ГИБДД средний ежегодный прирост количества автотранспортных средств составляет 8-10%, что в свою очередь снижет эффективность существующих процессов управления транспортными потоками, и влечет за собой снижение экономической эффективности перевозок [1]. Обновление и расширение улично-дорожной сети, даже при наличии хорошего финансирования, не успевает за постоянно растущим количеством транспортных средств. На данный момент выделяют системные и локальные методы для управления транспортными потоками. Методы локального управления применяются для управления перекрестками, находящимися на расстоянии более километра. Они считаются независимыми и управляются отдельно. Методы системного управления предназначены для управления близкорасположенных перекрестков, которые образуют единую сеть. В этом случае, для определения оптимального цикла регулирования, нужна информация о транспортных потоках со всех перекрестков входящих в сеть. В этой связи возникает проблема несогласованности в управлении транспортными потоками, что негативно

сказывается на эффективности существующих методов управления [2]. Одним из путей решения этой проблемы является развитие направления в области создания интеллектуальных транспортных технологий.

В работе предлагается рассмотреть предлагаемый авторами метод управления транспортными потоками основанный на методике анализа области влияния точек задержки, возникающих на участках дорожной сети. В начале работы приведены данные по исследованию участка улично-дорожной сети города Таганрога и на основе этих данных проверена математическая модель метода. Затем описывается процесс имитационного моделирования дорожного движения с применением разрабатываемого метода. В завершении работы представлена модель системы для управления дорожным движением на основе анализа области влияния точки задержки спроектированная в нотации UML.

Математическое моделирование процессов дорожного регулирования

Современные подходы к управлению дорожным движением сталкиваются со множеством проблем, которые не могут быть решены с помощью классических методов [3]. В ходе выполнения исследовательских работ, авторами был разработан метод дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки [4]. Для проведения исследования на разработанной имитационной модели был определен участок дорожной сети города Таганрога с часто возникающими проблемами в движении транспортных потоков, которые становятся причинами транспортных заторов и где регулярно образуются точки задержки транспортных средств.

При проведении работы была рассмотрена выборка из различных участков улично-дорожной сети с разной плотностью движения транспорта и характеристиками дорожного полотна.

В результате, исследования проводились на отрезке дороги от перекрестка ул. Седова - ул. Большая бульварная, до перекрестка ул. Александровская - ул. Большой проспект.

На этом участке дорожной сети в течение двух недель были проведены наблюдения и измерения для определения геометрической и транспортной характеристики участка дорожной сети [5].

Была составлена следующая геометрическая характеристика объекта:

Таблица № 1

Геометрическая характеристика

Параметр	Значение
Ширина проезжей части	От 8.2 м до 19.7 м
Ширина разделительной полосы	5.5 м
Количество полос движения	От 2 до 4
Ширина полос движения	От 2.8 м до 3.5 м
Количество стоянок для ТС	5 шт.
Количество пешеходных переходов	11
Средняя ширина пешеходного перехода	3.7 м

Также были произведены расчеты транспортной характеристики исследуемого объекта, представленные в таблице 2:

Таблица № 2

Транспортная характеристика

Параметр	Значение
Объем транспорта в направлении ул. Александровская - ул. Большая бульварная	350 ед./ч
Объем транспорта в направлении ул. Большая бульварная – ул. Александровская	300 ед./ч
Объем транспорта в направлении ул. Александровская – ул. Седова	430 ед./ч
Объем транспорта в направлении ул. Седова – ул. Александровская	280 ед./ч
Средняя скорость транспорта на участке с 7.00 до 20.00	29 км/ч
Количество автомобилей, ожидающих очередь к перекрестку, в среднем на одну полосу	18 авто

Объем пешеходного потока	235 чел./ч
--------------------------	------------

В ходе проводимых наблюдений были обследованы возникшие на дорожной сети точки задержки. В качестве одной из таких точек была определена зона выполнения работ по ремонту дорожного полотна проводимые на улице Восточная, изображена на рис.1.

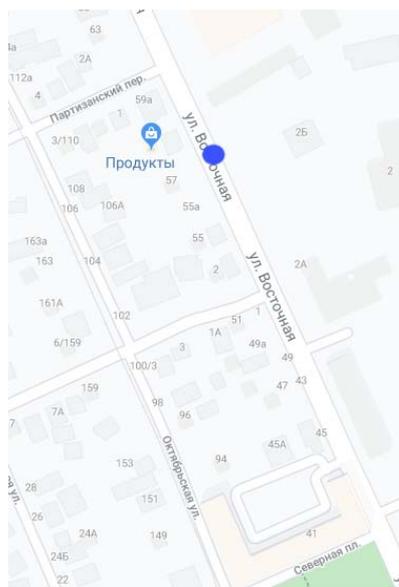


Рис. 1. - Точка задержки «Ремонтные работы»

Были исследованы параметры данной точки задержки, которые представлены в таблице 3.

Таблица № 3

Параметры точки задержки типа «Ремонтные работы»

Параметр	Значение
Тип точки задержки	Точка задержки стохастическая
Область влияния точки задержки	В момент обнаружения без затора
Средняя скорость транспортного потока до появления точки задержки	40 км/ч
Средняя скорость транспортного потока после появления точки задержки	31,1 км/ч
Коэффициент загрузки для данного участка дорожной сети	0.85

Другой точкой задержки являлась область с дорожно-транспортным происшествием на рис. 2, двух легковых автомобилей на улице Седова.

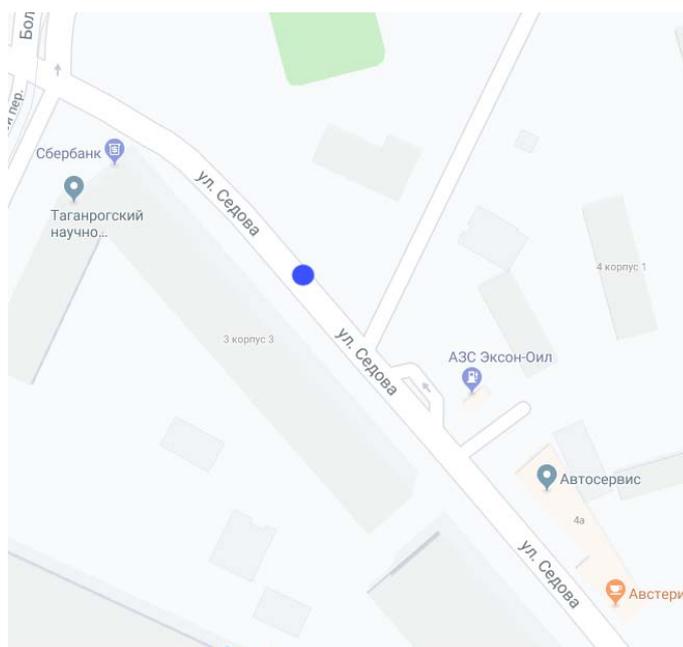


Рис. 2. - Точка задержки «Ремонтные работы»

Результаты исследований и определение параметров этой точки задержки представлены в таблице 4.

Таблица № 4

Параметры точки задержки типа «ДТП»

Тип точки задержки	Точка задержки стохастическая
Область влияния точки задержки	В момент обнаружения существовал затор
Средняя скорость транспортного потока до появления точки задержки	29 км/ч
Средняя скорость транспортного потока после появления точки задержки	13 км/ч
Коэффициент загруженности для данного участка дорожной сети	0.35
Количество транспортных средств в заторе	15 авт.
Средняя длина транспортного средства	3,5 метра
Количество транспортных средств, выехавших из затора	4 авт.
Количество полос движения на дороге	2
Расстояние от точки задержки до ближайшего пункта перенаправления ТС	289 метров

При помощи предложенной математической модели [6] и полученных в ходе исследования участка дорожной сети исходных данных, был произведен расчет для функций перенаправления транспорта в конкретных точках задержки внутри области влияния которой сформирован затор и для другой точки задержки в области влияния которой транспортного затора нет.

Для вычисления границы области влияния точки задержки воспользуемся формулой (1) из работы [5].

$$S * k < OZ = \frac{C * M}{N} - C_2 * M \quad (1)$$

и подставим в нее значения из таблицы 3, после чего получим:

$$289 * 0.35 < OZ = (15 * 3,5) / 2 - 4 * 3,5$$

$$101,15 < 12,25$$

В результате, неравенство неверно, это значит, что область влияния точки задержки еще недостаточно большая, чтобы начать перенаправление транспорта. Когда, граница области влияния точки задержки увеличится, и ее радиус будет равен четверти расстояния до ближайшего пункта перенаправления транспорта, значит точка задержки имеет сильное влияния на дорожную сеть и необходимо перенаправлять транспорт.

В соответствии с приведенной формулой, для начала эффективного перераспределения транспортных потоков, на ул. Седова, должна образоваться пробка, состоящая из 29 автомобилей и более.

Чтобы определить время начала образования транспортного затора и определения решения о перенаправлении транспортных потоков с целью снижения влияния точки задержки на транспортную сети при условии, что в области её влияния транспортный затор еще не возник, нужно в формулу (2) подставить значения из таблицы 1:

$$V * k > V' = \frac{\sum_1^n v_n}{n} \quad (2)$$

$$40 * 0.85 > V' = \frac{15 + 20 + 25 + 10 + 35 + 23 + 17 + 20 + 27 + 34 + 14}{11}$$

$$34 > 21.8$$

Как можно увидеть, неравенство верно, это означает, что возникла необходимость в перенаправлении транспортных потоков для предотвращения возникновения транспортного затора, что повлечёт за собой минимизацию влияния точки задержки на участок дорожной сети на улице Восточная.

Проверка работы метода с помощью имитационного моделирования

Для проверки эффективности разработанного метода и полученной математической модели, с помощью имеющихся у нас данных и программного продукта для проведения имитационного моделирования дорожного движения «PTV_VISSIM» [7], мы можем без управления физическими объектами, но основываясь на реальных данных о трафике, провести серию экспериментов по применению управляющих воздействий на транспортный поток.

Протяженность исследуемого участка составляет 1697 метров и на нем располагаются четыре перекрестка, из которых: два Х-образных и два Т-образных. Светофорные объекты установлены на 3-х перекрестках и один перекресток без светофорного регулирования. Не менее важно то, что на участке проходит пересечение с трамвайными путями.

Часть спроектированной имитационной модели изображена на рис. 3.

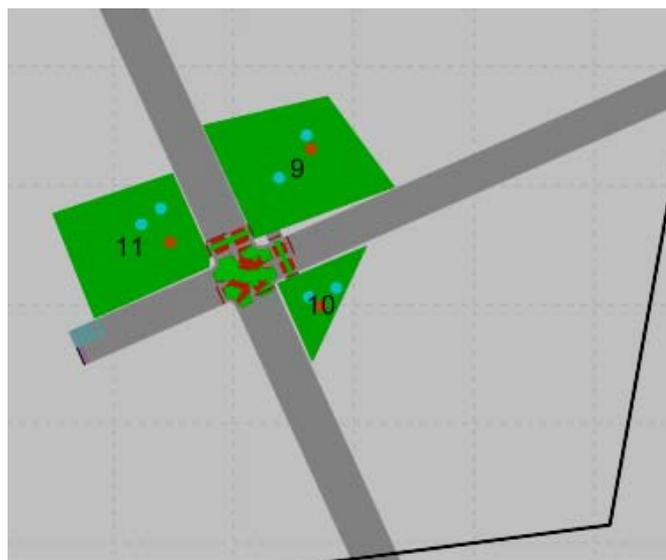


Рис. 3. - Часть созданной имитационной модели

С целью установления корреляции проведенных экспериментов с реальной транспортной ситуацией была произведена валидация полученной имитационной модели, которая реализована за счет изменения количества транспортных средств, которые проходят через входы и выходы участка улично-дорожной сети. Полученные данные представлены на рис. 4.

Число: 8	№	Имя	ИзмПункт	Кол:ИзмПункт	ТС(Актуально,Ан)	ТС(Актуально,Гр)	ТС(Актуально,полностью,все)
1	1	Вход Большой проспект	8	1	31	0	100
2	2	Выход Большой проспект	9	1	7	0	42
3	3	Вход Большая бульварная	10	1	22	0	40
4	4	Выход Большая бульварна	11	1	7	0	23
5	5	Выход Седова	12	1	5	0	18
6	6	Вход Седова	13	1	23	0	59
7	7	Вход Александровская	14	1	26	0	95
8	8	Выход Александровская	15	1	50	0	171

Рис. 4. - входы и выходы транспортной модели

Длительность цикла имитации в программе составляла 30 минут, поэтому для соответствия количества автомобилей натурным наблюдениям с данного участка, необходимо перевести полученные данные в единицу авт/ч, для этого увеличим полученные показатели в 2 раза.

Далее произведем сравнение данных модели и натурных данных [8]. По данным, полученным в ходе натурных наблюдений и транспортных детекторов среды имитации PTV Vissim, показатель корреляции составил

0.83, что свидетельствует о достаточном уровне точности построенной модели и тех показателей, которые будут с нее получены.

Для того, чтобы оценить эффективность работы метода для управления транспортными потоками, стоит оценивать такой объективный показатель, как время прохождения транспортного средства из начальной точки в конечную, оно должно быть минимальным.

Теперь, с помощью спроектированной имитационной модели, оценим, сколько времени затрачивают транспортные средства на преодоление участка дороги протяженностью 1 км. 697 м. с обычной загруженностью рис. 5.

Число:	ХодИм	ИнтВр	ИзмВрПутиТС	ТС(все)	ВрПути(все)	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В
1	27	0-300	4	161,51	161,51	212,23	161,51	212,23	161,51	186,87
2	27	300-60	2	212,23	212,23	161,51	212,23	161,51	212,23	186,87

Рис. 5. - Время прохождения транспортом исследуемого участка в обычном режиме

В ходе проведения эксперимента было выявлено, что при нормальном состоянии движения на исследуемом отрезке дорожной сети минимальное время движения прохождения исследуемого участка улично-дорожной сети: 161,51 секунды, максимальное время: 212,23 секунд, а среднее время для всех транспортных средств проходивших исследуемый участок: 186,87 секунды.

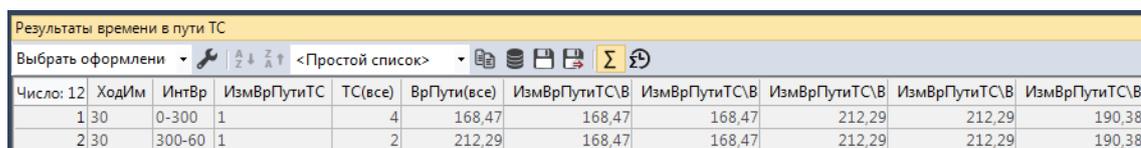
Внесем в имитационную модель корректировки в виде точек задержки, которые были выявлены во время наблюдения за исследуемым участком дорожной сети ранее. В первую очередь внедрим точку задержки типа «ДТП», эта точка была зафиксирована на одной из улиц, располагающихся на исследуемом участке. Проведем имитацию с точкой задержки, существующей на дорожной сети, рис. 6.

Число:	ХодИм	ИнтВр	ИзмВрПутиТС	ТС(все)	ВрПути(все)	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В
1	29	0-300	1	2	205,48	205,48	205,48	235,68	235,68	220,58
2	29	300-60	1	3	235,68	205,48	205,48	235,68	235,68	220,58

Рис. 6. - Время прохождения ТС исследуемого отрезка дорожной сети с точкой задержки типа «ДТП»

После проведения очередного имитационного цикла с внедренной точкой задержки, мы можем наблюдать увеличение времени прохождения исследуемого участка в среднем на 30 секунд, при увеличении минимального и максимального времени прохождения. Полученные данные позволяют сделать вывод, что точка задержки увеличила временные затраты водителей примерно на 15 %.

Применим разработанный метод для внесения корректировок в имитационную модель. Используя алгоритм работы метода, представленный в работе [9], внесем необходимые пункты перенаправления транспортных потоков в имитационную модель и запустим цикл имитации для получения данных времени движения, рис. 7.



Число:	12	ХодИм	ИнтВр	ИзмВрПутиТС	ТС(все)	ВрПути(все)	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В	ИзмВрПутиТС\В
1	30	0-300	1		4	168,47	168,47	168,47	212,29	212,29	190,38
2	30	300-60	1		2	212,29	168,47	168,47	212,29	212,29	190,38

Рис. 7. - Время прохождения ТС исследуемого отрезка дорожной сети с внесенными корректировками

По результатам проведенного эксперимента, можно сделать вывод о том, что применение метода к имитационной модели участка дорожной сети города Таганрога позволило снизить влияние точки задержки, возникшей на исследуемом участке к минимуму. Исходя из полученных данных мы можем сделать вывод, что по сравнению с прохождением транспортным средством исследуемого участка из начальной в конечную точку, в нормальном режиме, время прохождения с точкой задержки типа «ДТП» и примененном методе управления, увеличилось всего на 1,6 процента.

Затем была оценена скорость транспортных средств на исследуемом участке дорожной сети в нормальных условиях движения(рис. 8).

Число:	№	Имя	ИзмПункт	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)
1	1	Скорость в районе точки задержки	16,17	40,40	41,08	40,81

Рис. 8. - Скорость движения ТС на участке дорожной сети в обычном режиме

Таким образом, в нормальном режиме движения по дорожной сети средняя скорость автомобилей составляет 40,81 км/ч.

Для сравнения, внесем в имитационную модель точку задержки типа «Автомобиль, припаркованный с нарушением ПДД». Точка задержки этого типа была зафиксирована при исследовании улично-дорожной сети на ул. «Седова» (рис. 9).

Число:	№	Имя	ИзмПункт	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)
1	1	Скорость в районе точки задержки	16,17	28,90	33,68	32,02

Рис. 9. - Скорость прохождения ТС исследуемого отрезка дорожной сети с точкой задержки типа «Автомобиль, припаркованный с нарушением ПДД»

После проведенного цикла имитации было выявлено, что скорость движения транспортных средств на исследуемом участке дорожной сети снизилась примерно на 22 процента.

Далее имитационная модель участка дорожной сети была скорректирована согласно разработанному методу и был запущен цикл имитации. Результаты отражены на рис. 10.

Число:	№	Имя	ИзмПункт	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)	Скорость(Актуал)
1	1	Скорость в районе точки задержки	16,17	36,33	42,01	38,91

Рис. 10. - Скорость прохождения ТС исследуемого отрезка дорожной сети после применения разработанного метода

В результате имитационного моделирования движения транспортных средств на исследуемом участке дорожной сети было установлено что,

применение разработанного метода и как результат, перераспределение транспортных потоков в момент снижения скорости движения транспортных средств, уменьшает влияние точки задержки и сокращает область влияния точки задержки на улично-дорожную сеть, а средняя скорость, относительно нормального движения, снижается всего на 5 процентов.

После подтверждения эффективности разработанного метода на имитационной модели, результаты были использованы для проектирования автоматизированной системы управления дорожным движением.

Логический проект системы для управления дорожным движением

На первом этапе была разработана модель системных прецедентов, описывающая функционал, который должен присутствовать в разрабатываемой системе. Модель представлена на рис. 11.

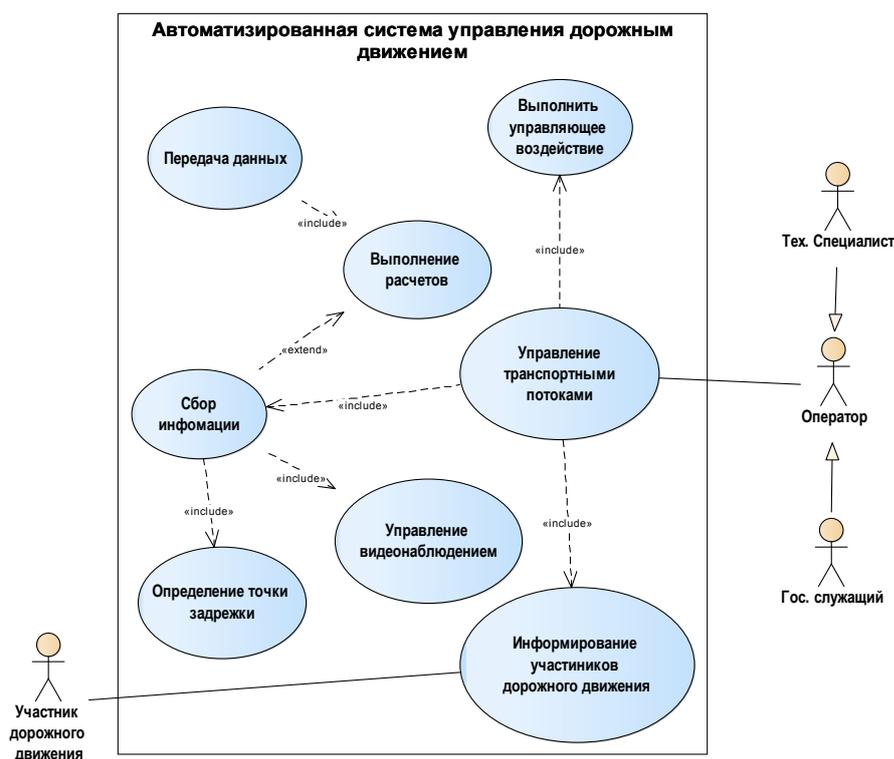


Рис. 11. - Модель системных прецедентов для разрабатываемой системы

Предполагается что, система будет воздействовать на транспортные потоки за счет изменения организации дорожного движения на конкретном участке дорожной сети. Управляющие инструкции для участников

дорожного движения будут выводиться на знаки переменной информации. Заявленный функционал будет реализован за счет разработанных подсистем сбора информации, в которых учитывается влияние точек задержки, которые формируются динамически. На основе процедур анализ выявленных точек производятся необходимые расчеты параметров конфигурации участков дорожной сети, которые учитываются при формировании решения о изменении схемы управления транспортными потоками на определённом участке улично-дорожной сети.

На основе разработанной модели системных прецедентов были выделены основные бизнес-объекты, которые учувствуют в организации управления дорожным движением. Для отображения процесса взаимодействия объектов была разработана специальная модель, представленная на рис. 12.

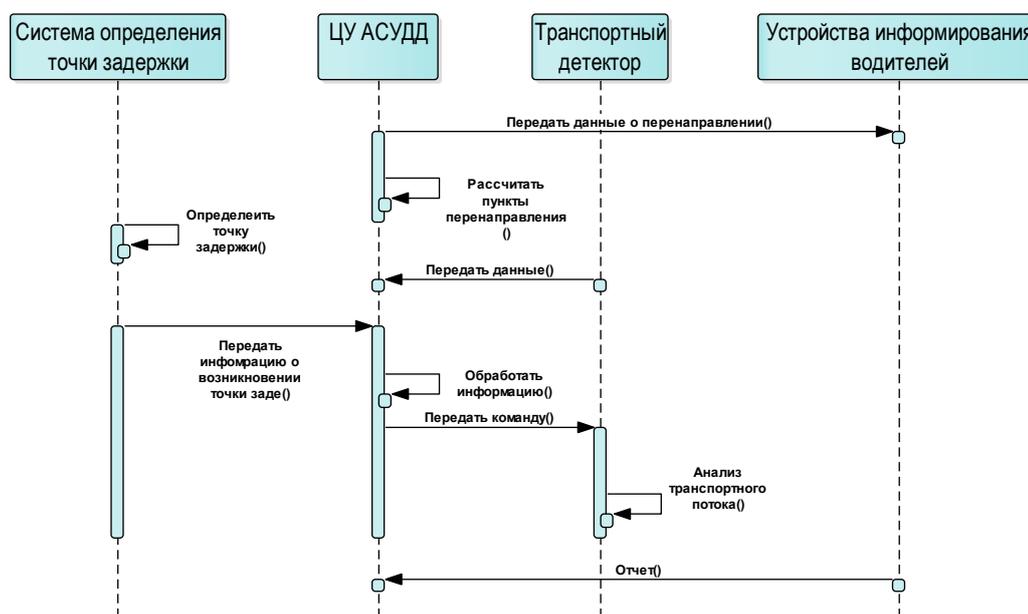


Рис. 12. - Модель взаимодействия объектов автоматизированной системы управления дорожным движением.

Модель взаимодействия представлена с помощью диаграммы последовательности в нотации языка UML [10]. Основными объектами данной модели являются:

- Средство определения точки задержки;
- Центр АСУДД;
- Транспортный детектор;
- Средства информирования водителей.

На примере данной модели можно увидеть, что процесс формирования решения о изменении начинается с процедуры определения точки задержки и степени ее влияния на движения в определенном участке улично-дорожной сети. Только после получения данной информации система запускает другие процедуры определения схемы организации дорожного движения.

Модель взаимодействия объектов уточняется разработанной моделью взаимодействия функционала, представленной на рис. 13.

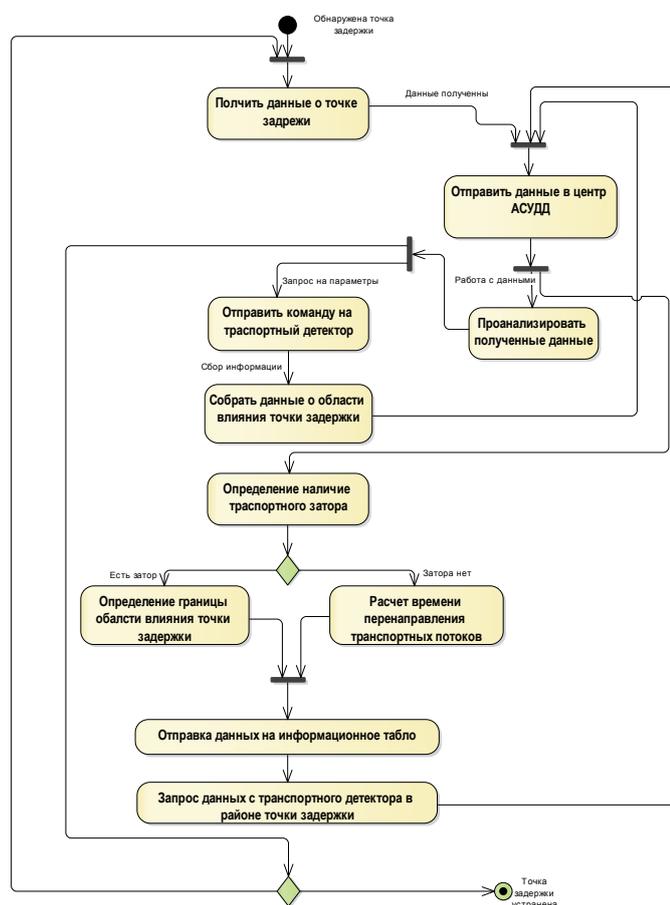


Рис. 13. - Модель деятельности разработанной системы.

Данная модель отображает связь функций в разработанной системе. В частности, стоит обратить внимания, что функционал оценки области влияния точки задержки реализуется детекторами транспортного потока

непосредственно на месте сбора первичной информации. В заключение была разработана статическая модель для отображения структуры системы, представленная на рис. 14.

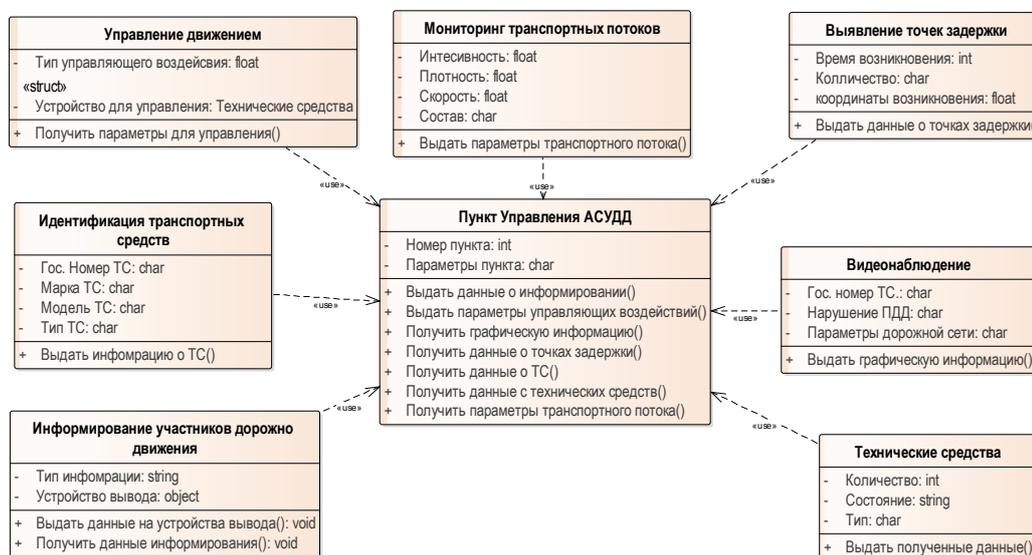


Рис. 14. - Структурная модель разрабатываемой системы.

Данная модель разбивает выделенные прецеденты на подсистемы, и регламентирует исполнения функций определенными модулями системы.

Таким образом, в ходе выполнения логического проектирования были разработаны модели, описывающие динамические и статические составляющие разрабатываемой системы. В этих моделях были учтены требования разработанного ранее метода анализа области влияния точек задержки.

Заключение

В работе произведена проверка предложенного метода управления транспортом применительно к конкретному участку улично-дорожной сети. Была проверена эффективность работы, как метода, так и разработанных математических моделей.

В ходе работы было выявлено, что, если согласно данным, полученным при расчете математической модели, внести корректировки в имитационную модель, точка задержки оказывает значительно меньшее влияние на

транспортную сеть, что позволяет автомобилям проезжать этот участок дороги без значительных потерь в скорости или времени движения.

Так же, был разработан логический проект автоматизированной системы для управления дорожным движением, в основе которого лежит предлагаемый метод управления движением, что обеспечит эффективный процесс управления транспортными потоками путем снижения влияния точек задержки, возникающих на дорожной сети и уменьшения области их влияния.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00367.

Литература

1. Зырянов В.В., Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709
2. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1083
3. Mirshahi M. et al. Active traffic management: the next step in congestion management. – United States. Federal Highway Administration, 2007. – № FHWA-PL-07-012; NTIS-PB2008100599. p. 196
4. Елькин Д.М., Кучеров С.А. Принцип работы метода дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки // Инновационные технологии и дидактика в обучении Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. 2018. С. 158-161.
5. Пугачев И. Н. Организация движения автомобильного транспорта в городах. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2005. С. 196

6. Беликов А.Н., Кучеров С.А. Формализация метода дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки // Инновационные технологии и дидактика в обучении. Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. 2018. С. 125-129.
7. Yang L., Lan W. On Secondary Development of PTV-VISSIM for Traffic Optimization //2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE). – IEEE, 2018. – p. 1-5.
8. Fellendorf M., Vortisch P. Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations // Transportation research board 80th annual meeting. – 2001. p. 1-9.
9. Грищенко А. С., Лапшин В. С. Алгоритм работы метода дорожного регулирования на основе анализа области влияния точки задержки // Инновационные технологии и дидактика в обучении: сборник статей. – 2018. – С. 149.
10. Unified Modeling Language (OMG UML), Version 2.5. — 2013. — 786 p.

References

1. Zyryanov V.V., Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709
2. Zyryanov V.V., Semchugova E.Yu., Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1083
3. Mirshahi M. et al. Active traffic management: the next step in congestion management. United States. Federal Highway Administration, 2007. №. FHWA-PL-07-012; NTIS-PB2008100599. p. 196
4. El'kin D.M., Kucherov S.A. Printsip raboty metoda dorozhnogo regulirovaniya na osnove analiza oblasti vliyaniya toчки zaderzhki, Innovatsionnye tekhnologii i didaktika v obuchenii Sbornik statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018. p. 158-161.



5. Pugachev I. N. Organizatsiya dvizheniya avtomobil'nogo transporta v gorodakh. [Organization of road transport in cities] Khabarovsk: Izd-vo TOGU, 2005. p. 196.

6. Belikov A.N., Kucherov S.A. Innovatsionnye tekhnologii i didaktika v obuchenii. Sbornik statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018. pp. 125-129.

7. Yang L., Lan W. On Secondary Development of PTV-VISSIM for Traffic Optimization, 2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE). IEEE, 2018. pp. 1-5.

8. Fellendorf M., Vortisch P. Transportation research board 80th annual meeting. 2001. pp. 1-9.

9. Grishchenko A. S., Lapshin V. S. Innovatsionnye tekhnologii i didaktika v obuchenii: sbornik statey. 2018. p. 149.

10. Unified Modeling Language (OMG UML), Version 2.5. 2013. 786 p.