

УДК 656

*Шаров Максим Игоревич,**к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт»,**научный сотрудник транспортной лаборатории ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»**Лысенко Валерия Григорьевна,**бакалавр кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»**Добрынина Валерия Сергеевна,**бакалавр кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»*

**ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ,
ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДОРОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ**

Sharov M.I., Lysenko V.G., Dobrynina V.S.

**REVIEW AND ANALYSIS OF TRAFFIC SURVEY METHODS USING MODERN
INFORMATION, TECHNOLOGICAL AND SOFTWARE SOLUTIONS FOR
REGISTRATION OF THE VALUES OF THE MAIN PARAMETERS CHARACTERIZING
ROAD TRAFFIC**

Аннотация. В данной статье представлен обзор и анализ современных методов и средств оценки параметров и эффективности организации дорожного движения в городах. Рассмотрены возможности применения спутникового навигационного оборудования для оценки качества организации дорожного движения, также представлены способы использования геоинформационных систем, детекторов транспорта, программного обеспечения для «потоковой» обработки видеоконтента.

Ключевые слова: транспорт, организация, дорожное движение, улично-дорожные сети, геоинформационные системы.

Abstract. This article presents an overview and analysis of modern methods and tools for assessing the parameters and effectiveness of traffic management in cities. The possibilities of using satellite navigation equipment to assess the quality of traffic management are considered, as well as the possibilities of using geoinformation systems, transport detectors, software for "streaming" video content processing are presented.

Keywords: transport, organization, traffic, road networks, geoinformation systems.

Для поддержания устойчивого уровня развития автомобильного транспорта важнейшей задачей организации дорожного движения (ОДД) является обеспечение эффективности и надежности функционирования сети дорог и городских улично-дорожных сетей (УДС), а также заданных условий движения.

В соответствии с приказом Минтранса России №406 от 13.11.2018 г. в состав работ по организации дорожного движения включены работы, направленные на мониторинг дорожного движения. Этот процесс осуществляется также в целях формирования и реализации государственной политики в области ОДД и формирования комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эффективности ОДД.

Благодаря мониторингу дорожного движения (ДД) появилась возможность получать информацию, необходимую для обес-

печения эффективного транспортного планирования, выбора методов и средств ОДД, снижения отрицательного воздействия транспорта на окружающую среду.

Собираемая информация должна быть разделена по уровням детализации, начиная от общих характеристик транспортной сети на региональном или федеральном уровне, до данных, полученных на локальном участке улично-дорожной сети города. В соответствии с этим должны быть определены оцениваемые показатели и используемый инструмент для сбора информации. Для оценки сложившегося качества и надежности транспортной сети на заданном уровне, необходимо использовать полученные показатели. Итоговый расчет обычно включает получение интегрального критерия – «уровня обслуживания» для обследуемого объекта транспортной сети и оценку пропускной способности. Рейтинг качества обслуживания

(Level of Service (LOS)) — это качественная мера для ранжирования условий эксплуатации [1].

На сегодняшний день основными критериями оценки надежности являются вариационные показатели, такие как: затраты времени на передвижение и скорость сообщения. Выбор этих показателей связан с развитием геоинформационных технологий, в частности, с широким распространением автомобильного навигационного оборудования и спутниковых данных.

Согласно постановлению Правительства РФ, №1379 от 16.11.2018 г., установлены правила определения основных параметров движения и ведения их учета. В число рассматриваемых Постановлением показателей входят временной *TTI* и буферный *Ib* индексы. Временной индекс представляет собой соотношение времени передвижения в пиковый период к продолжительности перемещения в свободных условиях. Значение буферного индекса представляет собой отношение времени превышения продолжительности передвижения в пиковое время над средней продолжительностью. За счет использования данных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, которые используются для организации дорожного движения, в значительной степени повышается качество дорожной инфраструктуры. С целью оценки надежности функционирования городских и дорожных сетей, могут быть использованы треки, поступающие как в режиме реального времени, так и архивные данные от:

- автомобилей-лабораторий;
- подвижного состава общественного пассажирского транспорта;
- подвижного состава муниципальных служб;
- автомобилей-такси, каршеринга;
- водителей-волонтеров;
- организаций, ведущих мониторинг местоположения своего транспорта [2, 3].

Существует множество источников информации, которые позволяют существенно сократить трудоемкость и стоимость обследования состояния организации дорожного движения.

Кроме того, в процессе работы возникает постоянный рост требований к качеству и точности получаемых данных. Для массового использования беспилотных транспорт-

ных средств на дорогах общего пользования необходимо свести погрешность в получении данных о характеристиках транспортных потоков до нуля. Такие данные могут использоваться не только для оценки существующей ситуации на дорогах, но также и для решения других задач обеспечения эффективного транспортного планирования или организации дорожного движения. Например: прогнозирование транспортных спросов (транспортных моделей), калибровка транспортных средств.

Проведение оценки эффективности проектов благоустройства и организации дорожного движения – обязательная составляющая градостроительного и транспортного планирования:

- генеральных планов (в разделах, связанных с УДС);
- документов транспортного планирования (ПКРТИ, КСОДД, КСОТ);
- проектов планировки (ПП);
- проектов организации дорожного движения (ПОД).

Методы оценки эффективности и инструменты сбора данных о характеристиках транспортных потоков являются одним из важнейших разделов методического обеспечения проектирования дорожного движения. Основными критериями оценки состояния ОДД на отдельных элементах УДС являются показатели, представленные в таблице 1.

В данной статье сделан обзор и анализ современных методов и средств оценки параметров и эффективности организации дорожного движения.

Постановлением Правительства РФ №1379 от 16.11.2018 г. установлено, что основными параметрами дорожного движения являются: интенсивность дорожного движения, состав транспортных средств, средняя скорость движения транспортных средств, среднее количество транспортных средств в движении, приходящееся на один километр полосы движения (плотность дороги), пропускная способность дороги.

Проведенный обзор и анализ современных методов обследования дорожного движения позволяет определить три основных направления развития технологий для регистрации значений основных параметров, характеризующих дорожную ситуацию (рисунки 1) [5-7].

Таблица 1. Критерии оценки состояния ОДД на отдельных элементах УДС [4]

Вид движения	Элемент улично-дорожной сети	Критерий оценки
1	2	3
Транспортный поток	Перегон дороги или улицы	Пропускная способность Скорость
	Развязки в разных уровнях	Пропускная способность
	Кольцевые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Средняя задержка Суммарная задержка
	Нерегулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Регулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Улично-дорожная сеть	Пропускная способность Время сообщения Количество остановок (при движении по сети) Суммарная задержка
Пешеходный поток	Тротуары	Пропускная способность Скорость Плотность пешеходного потока
	Нерегулируемые переходы	Средняя задержка Размер очереди (территория, занятая пешеходами)
	Регулируемые переходы	Пропускная способность Средняя задержка Размер очереди (территория, занятая пешеходами)

Первое исследование функционирования системы управления потоком было связано с большой сложностью оценки, так как требовалось большое количество людей для определения интенсивности и скорости потока. Круглосуточный мониторинг или оценка влияния случайных факторов ещё больше затрудняли этот процесс. Более высокая степень оценки надежности функционирования УДС увеличилась благодаря массовому внедрению систем спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС) и ГИС-технологий. Хотя в настоящее время существует множество систем глобального позиционирования, пионерами данной технологии во многом были США.

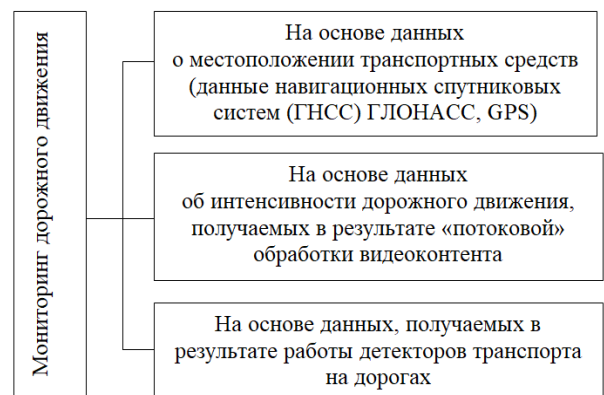


Рисунок 1 – Современные информационные, технологические и программные решения для регистрации значений основных параметров, характеризующих дорожное движение

Основными принципами построения и работы системы спутниковой навигации являются: определение координат, скорости и направления движения.

Названы причины, по которым в США начали развиваться идеи использования космических аппаратов для навигации подвижных объектов после запуска СССР в 1957 г. первого искусственного спутника Земли. Разработаны атомные часы, которые позволили использовать для навигации сеть точно синхронизированных передатчиков и передавать кодированные сигналы. Измерение приемником соответствующих временных задержек позволяло рассчитать его координаты.

Во время запуска с подводных лодок баллистических ракет Polaris в 1964 году была создана спутниковая радионавигационная система первого поколения Transit. Этот продукт был предоставлен для коммерческо-

го использования в 1968 г. В 1974 году программы Военно-воздушных и Военно-морских сил США были объединены в общую Навигационную технологическую программу, позже превратившуюся в программу Navstar GPS; спутники системы NavStar стали работать с максимальной достижимой на тот момент степенью точности [8].

Летные испытания высокоорбитальной Российской навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), были начаты в октябре 1982 года посредством запуском спутника «Космос-1413», а в 1995 году было завершено её развертывание до штатного состава. Из космоса было вывезено 24 космических аппарата и созданы комплексы самолётных, наземных аппаратов.

В начале ГЛОНАСС и GPS использовались преимущественно как закрытые системы навигации, но в настоящее время они стали открытыми для пользователей во всем мире. В других странах также существуют навигационные системы, например, европейская Galileo, китайская Бэйдоу и другие [8].

Появление навигационного автомобильного оборудования, воспроизводящего ГЛОНАСС/GPS треки, кардинально меняет ситуации в области организации дорожного движения. Транспортное средство, имеющее оборудование для записи трека движения с фиксацией координат, позволяет в режиме реального времени получать информацию о характеристиках транспортного потока. Этим обусловлено наблюдающееся в последние годы широкое распространение технологии «плавающего в потоке автомобиля» (floating vehicle, probe vehicle) – то есть автомобиля-лаборатории, оборудованного ГЛОНАСС/GPS трекером и средствами видеонаблюдения.

Более широкое распространение навигационных автомобилей и наличия требований обязательного размещения их на подвижном составе общественного пассажирского транспорта значительно расширяют возможности контроля за движением транспортных потоков в целом.

Эффективность работы сетей автомобильных дорог и городских улично-дорожных сетей определяется изменением показателей скорости сообщения и продолжительности передвижения в период пиковых нагрузок по отношению к значениям этих показателей во время максимальной на-

грузки (временной и буферный индексы). Такие характеристики можно определить с помощью данных GPS/ГЛОНАСС трека, что обусловлено простотой их получения.

Для расчета значения временного индекса сегмента городской улицы или дороги, а также исследуемого участка загородной дороги необходимо записать два трека (в пиковый период максимальной загрузки движением и в период низкой загрузки, то есть в период, когда наблюдаются свободные условия движения) (рисунок 2).

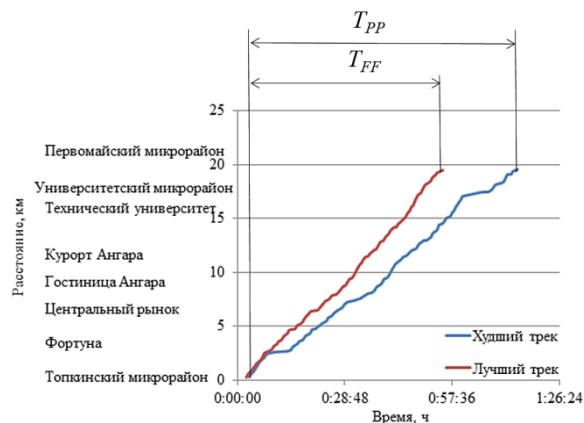


Рисунок 2 – Графики «время-расстояние» лучшего и худшего треков за суточный цикл: T_{PP} – время, затрачиваемое на прохождение участка в условиях пикового периода, мин; T_{FF} – время, затрачиваемое на прохождение участка в условиях свободного потока, мин

В крупных городах характерно наличие двух суточных пиков, соответственно для обследования необходимо выбрать пиковый период, в который на данном сегменте или маршруте наблюдается максимальная интенсивность движения.

В случае если по рассматриваемому сегменту городской улицы или дороги имеется выборка более 20 – 25 треков, то время, затрачиваемое на прохождение участка в условиях пикового периода можно определять соответственно, как значения 5% и 95% обеспеченности. Для определения значений буферного времени и буферного индекса необходим объем выборки не менее 20 – 25 треков, при этом часть треков должна быть записана в условиях свободного движения (когда уровень загрузки рассматриваемого участка УДС не превышает 10 – 20%) [2].

Более эффективное использование данных о местоположении транспортных средств позволяет значительно увеличить

эффективность и качество оценки показателей ОДД.

Геоинформационная система (ГИС) – это система, которая собирает и обрабатывает пространственные данные и обеспечивает их хранение, доступ, отображение и распространение. Данные о пространственных объектах в форме цифровых представлений (векторных, растровых) содержатся в ГИС [9].

Создание ГИС началось в середине XX века, когда проводились исследования принципиальных возможностей использования этих технологий. Это было связано со становлением спутникового навигационного оборудования и систем управления базами данных. В результате стремительного развития компьютерной техники в 1970-1980 годах, ГИС-технологии стали доступны широкому кругу пользователей [10].

На сегодняшний день ГИС-технологии используются во всех сферах жизни человека. Примерами ГИС-технологий являются конечная продукция, которая представляет собой интерактивные детализированные карты с возможностью определения координат и изменения масштаба для измерения расстояния и площадей, просмотра улиц в режиме обзоров или наложения дополнительных слоев. В качестве примера такой реализации ГИС-технологий можно привести одну из самых популярных в мире систем Google Maps, примеры функциональных возможностей которой представлены на рисунке 3. У Google Maps есть функция для оценки состояния системы управления. Это шкала от зеленого цвета до красного, где зеленый цвет – свободные условия, красный – максимальная степень загруженности территории.

В представленном функционале можно собирать данные УДС удаленно, при этом получать всю необходимую информацию о протяженности участков дороги, а в режиме обзора определять количество полос для движения и пешеходных переходов без выезда на место обследования. Аналогичный функционал имеет отечественный сервис «Яндекс.Карты» (рисунок 4).

Развитие ГИС и GPS технологий стало толчком к созданию и развитию систем показателей оценки характеристик дорожной сети. Информация, полученная при помощи навигационного оборудования, интегрированная с ГИС позволяет производить расчёты характеристик движения потока при про-

хождении им участков УДС. В случае возможности получения ГИС-данных с навигационного оборудования большого числа участников дорожного движения можно исключить необходимость натурных обследований на УДС.

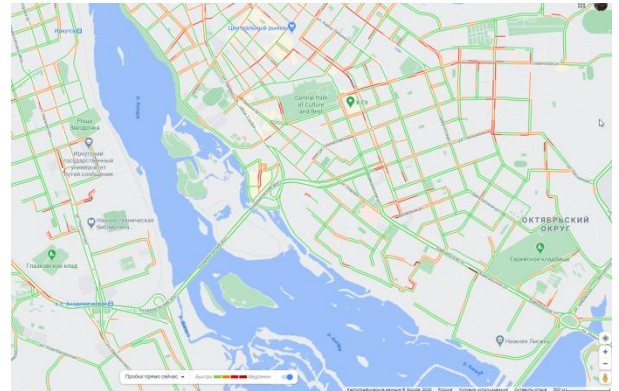


Рисунок 3 – Пример работы сервиса «Google Maps»

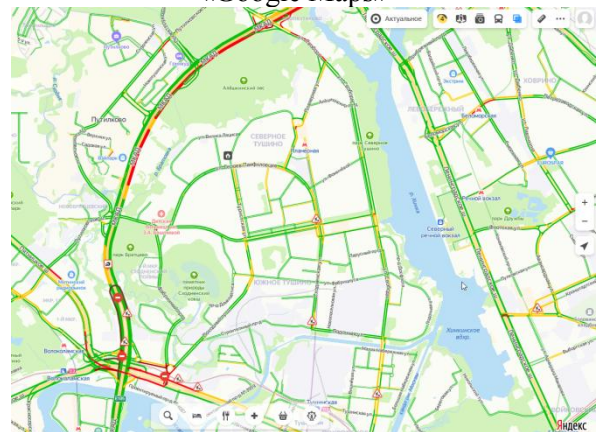


Рисунок 4 – Пример работы сервиса «Yandex»

Компания «TomTom» [11] – поставщик устройств для транспортной навигации, опубликовал исследование о создании собственного показателя качества функционирования УДС – TomTom Traffic Index. В 2016 году был представлен годовой отчет, в котором детально рассмотрены пробки в крупнейших городах мира. Согласно исследованию, из городов мира Москва заняла пятое место по перегруженности дорог с показателем 44%. На четвертом месте Рио-де-Жанейро (47%). Затем следуют Стамбул (50%), Бангкок (57%) и Мехико (62%).

По данным [11] уровень транспортных заторов в г. Москве в 2018 году составил 58%, в г. Новосибирске – 44%, в г. Санкт-Петербурге – 47%, в Екатеринбурге – 37 %.



Рисунок 5 – Пример уровня загрузки УДС в будний день (г. Москва) [11]



Рисунок 6 – Пример уровня загрузки УДС (г. Новосибирск) [11]

Очевидно, что подобный уровень загрузки УДС оказывает негативное влияние на качество работы всей транспортной инфраструктуры. Высокий уровень транспортных заторов негативно влияет на подвижность населения, повышает уровень шума, создаваемый автомобильным трафиком, и в целом снижает безопасность дорожного движения. Подвижность населения сильно снижается из-за того, что в значительной степени увеличивается время передвижения до необходимой цели (рисунок 7).

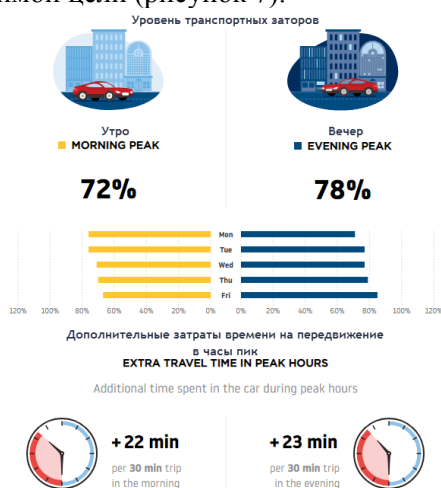


Рисунок 7 – Пример уровня загрузки УДС и дополнительных затрат времени на передвижение (г. Екатеринбург) [11]

Использование ГИС-данных о состоянии потока от государственных и муниципальных структур, ответственных за ОДД, ограничено из-за того, что добровольное предоставление этой информации водителям затруднено. Компании по сбору и обработке ГИС-данных обычно не готовы предоставить эту информацию безвозмездно. Решение этого ограничения может быть установлено на автомобилях, принадлежащих муниципальным и государственным службам. В штате Делавэр (США) в 2007 году более 2000 автомобилей были снабжены навигационным оборудованием, которое каждые 2 минуты передает информацию о его движении (это более двух миллионов измерений в месяц). Полученные данные используются для мониторинга дорожного движения и повышения эффективности ОДД [12].

Преимуществом использования в качестве источника ГИС-данных автомобилей, принадлежащих государственным и муниципальным службам, можно отнести следующие факторы:

- количество предоставляемых ГИС-данных обширно и они охватывают большую часть городской УДС;
- разработка единой программы для обработки данных с возможностью её использования всеми государственными и муниципальными службами минимизирует стоимость для отдельно взятого региона или муниципалитета;
- требуются только первоначальные затраты на приобретение оборудования, которое может быть использовано в том числе и для контроля за использованием автомобилей и расходом топлива;
- полученные данные могут быть представлены в открытом доступе всем желающим без ограничений.

Посредством использования ГИС-технологий можно повысить точность и объективность оценки эффективности, надежности и безопасности работы УДС, при этом минимизировав затраты на ее проведение.

Также для оценки основных параметров дорожного движения используют данные, полученные при установке стационарных детекторов транспорта на дорогах. В стационарных пунктах измерений (камеры, детекторы различных типов) можно получить следующую информацию в конкретной точке сети (сечении или узле):

- интенсивность движения;

- состав потока;
- скорость транспортного потока;
- плотность транспортного потока [4].

Для получения данных о характере изменения интенсивности движения в суточном цикле стационарные источники позволяют получать данные о характере изменения интенсивности движения. Временные источники могут использоваться для размещения в автоматизированных системах управления при условии высокой плотности их размещения. Для автоматизации управления транспортными потоками на магистральной дороге М42 (восточный обход Бирмингема, Англия) используется сеть детекторов через каждые 800 м.

В городских условиях охватить всю УДС регулярными постами наблюдения сложно по экономическим причинам. Кроме того, стационарные источники не позволяют выявить многие характеристики функционирования УДС, например, зоны снижения скорости, а также остаются неохваченными для наблюдения «слепые зоны».

В последнее время в направлении развития детекторов автомобильного транспорта проведены многочисленные исследования [13]. В результате чего становится возможным создать детекторы, позволяющие определять не только количество транспортных средств, проходящих через заданное сечение, но также их тип (легковые, грузовые, автопоезда), вес, идентифицировать транспортное средство (по регистрационному номеру, транспондеру) и оценить качество ОДД.

В настоящее время наблюдается тенденция развития детекторов транспорта, как за рубежом, так и в России, создается много различных принципов использования чувствительных элементов, на основе которых создаются детекторы транспорта.

Новым направлением в развитии инструментария по проведению мониторинга ОДД и оценка основных параметров дорожного движения, становится «поточная» обработка видеоконтента. Эта возможность появилась в результате роста вычислительной мощности компьютеров и развития, так называемого машинного обучения.

Данные решения имеют достаточно обширный функционал:

- работа с видеозаписями с квадрокоптеров, с камер видеонаблюдения, ночного видения;

- возможность обработки видеофайла в режиме реального времени;
- отслеживание траектории движения автомобиля;
- определение 23-х типов транспортных средств и пешеходов;
- расчет суточной интенсивности, скорости, плотности, уровня обслуживания и других параметров дорожного движения;
- определение длины очереди автомобилей и времени, проведенного в очереди;
- определение времени стоянки автомобиля.

Полученные данные можно сразу адаптировать для передачи их в информационно-аналитическую систему регулирования на транспорте (АСУ ТК) согласно установленным требованиям приказа №114 от 18.04.2019 г. «Об утверждении Порядка мониторинга дорожного движения».

Одним из примеров в области разработки подобного программного обеспечения (ПО) может стать ПО, разрабатываемое российской компанией TrafficData (рисунок 8-9) [14].



Рисунок 8 – Пример обработки видеосигнала, поступающего со стационарной камеры [14]

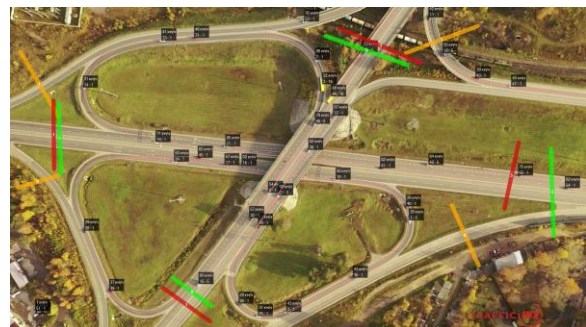


Рисунок 9 – Пример обработки видеосигнала, записанного с использованием квадрокоптера [14]

Возможность обработки данных записи видеонаблюдений с использованием смартфона или беспилотных летательных

аппаратов считается достаточно перспективным направлением ввиду широкого распространения подобных технологий.

Проведенный обзор и анализ современных методов и средств оценки параметров и эффективности организации дорожного

движения позволяет судить о значительных положительных изменениях в возможностях для их оценки. Дальнейшее развитие таких технологий позволит значительно повысить качество организации дорожного движения и его безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов, А. Ю. Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети / Михайлов А.Ю., Горбунов Р.Н., Горбунова З.В. // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 4 (77). С. 194-203.
2. Полтавская, Ю. О. Моделирование продолжительности движения по маршруту с учетом характеристик улично-дорожной сети / Ю. О. Полтавская, О. А. Лебедева // В книге: Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. материалы Тринадцатой Международной конференции. Томский государственный университет. Томск, 2020. С. 101-102.
3. Полтавская, Ю. О. Обзор существующих автоматизированных систем подсчета пассажиров общественного транспорта / Ю. О. Полтавская, О. А. Лебедева // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1. № 1. С. 220-225.
4. Peterson, B. E. Calculation of capacity, queue length and delay in traffic facilities / B. E. Peterson // Traffic Eng. and Contr., 1977, v.18, N 6, pp. 310 – 312
5. Шаров, М. И. Оценка эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта в условиях роста уровня автомобилизации / М. И. Шаров // В сборнике: современные тенденции развития городских систем. Материалы Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения основателя уральской архитектурной школы, профессора К.Т. Бабыкина. Под редакцией С.П. Постникова, Ю.С. Янковской, Е.Ю. Витюк; ФГБОУ ВПО «Уральская государственная архитектурно-художественная академия», ОАО «РЖД» Свердловская железная дорога. 2015. С. 235-237.
6. Булдакова, В. С. К вопросу о зарубежном опыте оценки качества работы пассажирского транспорта в городах / В. С. Булдакова, А. М. Боброва, М. И. Шаров // В сборнике: Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей X международной научно-технической конференции. 2018. С. 280-286.
7. Шаров, М. И. Оценка надежности функционирования городского общественного транспорта в городах российской федерации / М. И. Шаров, А. Ю. Михайлов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. № 3 (67). С. 302-311.
8. Хрусталева, Д. GPS – взгляд изнутри. Спутниковая навигация и принципы построения приёмников GPS и ГЛОНАСС / Д. Хрусталева // Компоненты и Технологии. – 2001. – № 15.
9. Географическая информационная система [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gisa.ru /13058.html> (Дата обращения: 10.10.2022 г.)
10. Дмитриев, А. Н. Введение в геоинформационное картирование (учебно-методическое пособие) / А.Н. Дмитриев, А.В. Шитов. – Горно-Алтайск: Универ-Принт, 2001.– 64 с.
11. TomTom Traffic Index [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tomtom.com /en_gb/traffic-index/ (Дата обращения: 10.10.2022 г.)
12. Racca, D. P. Study and Calculation of Travel Time Reliability Measures / D. P. Racca, D. T. Brown // Center for Applied Demography & Survey Research University of Delaware, 2012. – 64 p.
13. Тебеньков, С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях. Реф. дисс. к.т.н. Иркутск, ИрГТУ, 2013. – 20 с.
14. Trafficdata [Электронный ресурс]. – URL: <https://trafficdata.ru/> (Дата обращения: 10.10.2022 г.)